



**Luftqualität 1991 bis 2000
– Ein Überblick
für das Land Brandenburg –**

Studien und Tagungsberichte
Band 40



Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe – ISSN 0948-0838

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA)

Berliner Straße 21–25

14467 Potsdam

Tel.: 0331-23 23 259

Fax: 0331-29 21 08

E-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Band 40 – Luftqualität 1991 bis 2000 – Ein Überblick für das Land Brandenburg

Bearbeitung:

Abteilung Immissionsschutz, Ref. Gebiets- und verkehrsbezogener Immissionsschutz 13

- Ref. I3: Dipl.-Ing. H. Jursch (Gesamtleitung), Dr. M. Kühne
- Ref. I1: Dipl.-Ing. B.-K. Müschner
- Ref. I2: Dipl.-Phys. R. Offermann
- Ref. I4: Dipl.-Ing. H. Hegewald, Dipl.-Math. S. Mattick
- Ref. I8: Dipl.-Ing. K. Kaldun, G. Hertwig
- Ref. I10: Dipl.-Ing. G. Kloth, Dipl.-Ing. L. Behrendt
- Ref. J2 und Q6: Datenbereitstellung

Potsdam/Cottbus im September 2002

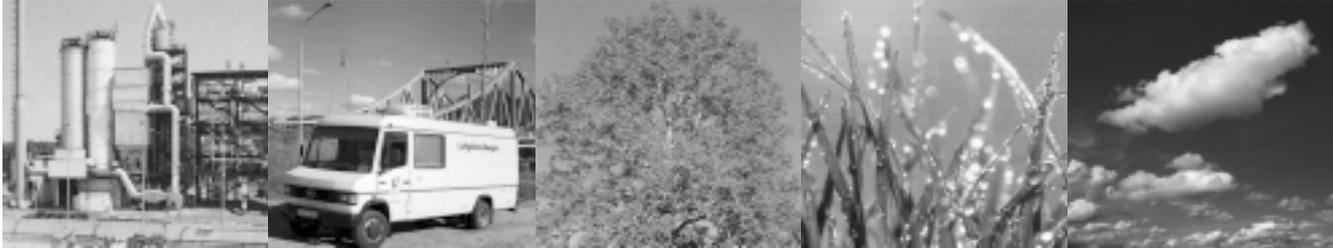
Gesamtherstellung: Digital & Druck, Inh. Matthias Greschow, Welzow

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Schutzgebühr 7 EUR



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Der Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers gestattet.



Luftqualität 1991 bis 2000 – Ein Überblick für das Land Brandenburg –

Studien und Tagungsberichte
Band 40



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG

Inhalt

	Seite
Vorwort des Präsidenten	3
Zusammenfassung/Summary	4/5
1 Organisation der Emissions- und der Immissionsüberwachung im Land Brandenburg	6
2 Entwicklung der Emissionen	6
2.1 Emissionen stationärer Anlagen	7
2.1.1 Emissionsentwicklung ausgewählter Schadstoffe	7
2.1.2 Beispiele der Emissionsentwicklung in ausgewählten Industriezweigen	12
2.1.2.1 Kohle- und Energiewirtschaft	12
2.1.2.2 Chemische Industrie	13
2.1.2.3 Eisen- und Stahlproduktion	15
2.1.2.4 Zementproduktion	16
2.2 Emissionen des Straßenverkehrs	17
2.3 Emissionen klimarelevanter Gase	20
2.4 Anthropogene Gesamtemission	22
2.5 Biogene Emissionen	23
2.6 Zusammenfassende Einschätzung der Emissionsentwicklung	23
3 Entwicklung der Immissionen	24
3.1 Immissionsüberwachung	24
3.2 Flächen- und industriebezogene Immissionen	29
3.2.1 Anorganische Gase	30
3.2.1.1 Schwefeldioxid	30
3.2.1.2 Stickstoffoxide	33
3.2.1.3 Ozon	37
3.2.1.4 Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff	41
3.2.2 Leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe	42
3.2.3 Schwebstaub	46
3.2.3.1 Gesamtstaub	46
3.2.3.2 Spurenstoffgehalt	46
3.2.4 Luftverunreinigungsindex	50
3.2.5 Staubbiederschlag	52
3.2.5.1 Gesamtstaub	52
3.2.5.2 Spurenstoffgehalt	53
3.2.6 Niederschlagsdeposition	55
3.2.6.1 Hauptinhaltsstoffe	55
3.2.6.2 Spurenstoffgehalt	58
3.3 Verkehrsbedingte Immissionen	59
3.3.1 Gase	59
3.3.2 Schwebstaub	61
3.4 Geruchsbelästigungen	62
3.5 Zusammenfassende Einschätzung der Immissionsentwicklung	62
4 Ausblick	64
Quellen- und Literaturverzeichnis	65

Sehr geehrte Leserinnen, sehr geehrte Leser,

nach einem Jahrzehnt großer und erfolgreicher Anstrengungen zur Minderung der Emissionen und Immissionen im Land Brandenburg erscheint es angemessen, die Entwicklung der Luftqualität im Zeitraum 1991 bis 2000 zusammenfassend vorzustellen. Wir schließen damit lückenlos an ein analoges Kompendium unseres Hauses für den Zeitraum vor 1991 an („Luftqualität 1975 – 1990“).

Der Umfang des vorliegenden Berichtes gestattet es nicht, alle wichtigen Details vorzustellen oder zu belegen. Da in der Vergangenheit neben periodischen Berichten zur Luftqualität auch zusammenfassende und thematisch vertiefende Berichte publiziert wurden, wird der an weiteren Details interessierte Leser auf diese Veröffentlichungen verwiesen.

Im vorliegenden Bericht werden – abweichend vom Titel – auch Daten aus den Jahren 1989/1990 einbezogen. Diese zeitliche Überschneidung ist unverzichtbar, da die Emissions- und Immissionssituation des Jahres 1991 die Situation vor der Wende vielfach nicht hinreichend widerspiegelt. Im Zeitraum 1988/1990 nahmen bereits Veränderungen von großer Tragweite für die Luftqualität ihren Anfang.

Im Zeitraum 1991 bis 2000 wurden bei den meisten Luftschadstoffen Verbesserungen der Emissions- und Immissionssituation in einem Umfang erreicht, der zu Beginn der 90er Jahre als utopisch belächelt worden wäre. Die wirtschaftlichen Veränderungen im Land haben ohne Zweifel signifikante Beiträge zur Emissionsreduzierung geliefert. Die erheblichen Emissionsminderungen wurden aber nicht zuletzt auch durch den Einsatz emissionsarmer Technologien und Rohstoffe sowie hoch-effektiver Abgasreinigungsanlagen erreicht.

Die erheblich besseren messtechnischen und chemisch-analytischen Möglichkeiten zur validen Erfassung der Emission und Immission im Vergleich zur Zeit vor 1991 waren eine Grundvoraussetzung heute einen Bericht vorlegen zu können, der in seiner Aussagebreite den Vorläuferbericht weit übertrifft.

Ungeachtet der erreichten deutlichen Verbesserung der Luftqualität bleiben die Überwachung und Begrenzung persistenter Stoffe, von Stoffen mit mutagener, teratogener, cancerogener und endokriner Wirkung und nicht zuletzt der Schutz sensibler Ökosysteme vor schädigenden Immissionen im Sinne des Artikels 39 der Verfassung des Landes Brandenburg als vielfältige Aufgabe bestehen. Die Anforderungen aus der neuen Luftqualitätsrahmenrichtlinie der EU und deren Tochtrichtlinien, insbesondere hinsichtlich der Luftverunreinigung durch den motorisierten Straßenverkehr, oder aus der internationalen Klimakonvention (3. Vertragsstaatenkonferenz 1997 in Kyoto) eröffnen hier veränderte oder gänzlich neue Aufgabenfelder, denen das künftige Hauptaugenmerk gelten wird.

Heinz Jursch ist der hauptverantwortliche Autor des vorliegenden Berichtes. Er hat den größten Teil des Textes verfasst, die Beiträge der Koautoren abgestimmt und die Erstellung des vollständigen Manuskriptes redaktionell betreut. Heinz Jursch wurde Ende 2001 nach mehr als 37 Jahren vorbildlichen Wirkens in der Luftreinhaltung auf dem Gebiet des Landes Brandenburg in den verdienten Ruhestand verabschiedet. Aus diesem Anlass sei an dieser Stelle seine berufliche Laufbahn gewürdigt.

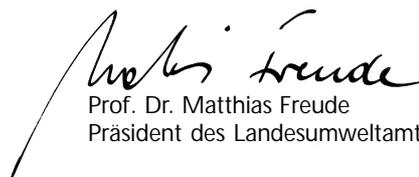
Herr Dipl. Ing. Heinz Jursch wurde am 26. Juni 1938 in Calau/Niederlausitz geboren. Nach dem 1956 bestandenen Abitur und dem Abschluss als Ingenieur für Fernmeldetechnik an der Bergakademie Freiberg war er dort von 1959 bis 1964 im wissenschaftlichen Gerätebau tätig. Anschließend wirkte er 26 Jahre lang am Bezirkshygiene-Institut (BHI) Cottbus, wo er unter schwierigen Bedingungen das Fachgebiet Lufthygiene aufbaute. Nach dem im Fernstudium an der TU Dresden 1968 erworbenen Ingenieursdiplom für Technische Akustik war er im BHI ab 1970 für Luft- und Lärmhygiene verantwortlich. Als Abteilungsleiter Reinhaltung der Luft erwarb er sich in der DDR einen hervorragenden fachlichen Ruf, u.a. mit Arbeiten zur Fluoridbelastung und zu epidemiologischen Fragen wie dem Zusammenhang zwischen verschiedenen Krebskrankungen und der territorialen Luftschadstoffsituation. Als Fachingenieur für Umweltschutz und für Medizin wurde er 1985 am BHI stellvertretender Abteilungsleiter Umwelthygiene.

Ab 1991 stellte Heinz Jursch als stellvertretender Leiter des Referates „Gebiets- und verkehrsbezogener Immissionsschutz“ im Landesumweltamt sein profundes Wissen unter Beweis. So hatte er zum Beispiel die Federführung bei der Erstellung und regelmäßigen Fortschreibung der „Immissionsmesskonzeption“ für die Überwachung der Luftqualität im Land Brandenburg inne. Große Verdienste erwarb er sich im Berichtswesen der Abteilung Immissionsschutz und mit zahlreichen Veröffentlichungen über die Entwicklung der Luftqualität in Brandenburg, wie z.B.

- Jahresberichte 1991 ... 2000 „Luftqualität in Brandenburg“
- Studienbericht „Luftqualität in Brandenburg 1975 bis 1990“ als lfd. Band 5
- Studienbericht „Staubniederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg“ als lfd. Band 36 und der hier vorliegende
- Studienbericht „Luftqualität 1991 bis 2000 – Ein Überblick für das Land Brandenburg“ – sowie umfangreiche Zuarbeiten für die
- Immissionsschutzberichte 1992, 1994, 1996 und 1998 des Umweltministeriums.

Von Beginn an setzte er sich für eine medienübergreifende Sicht bei der Bewertung von Luftreinhaltungsproblemen ein und war maßgeblich beteiligt an der Erarbeitung eines Konzeptes für die ökologische Dauerbeobachtung im Land Brandenburg.

Mit seinem beispielgebenden Einsatz hat sich Heinz Jursch im Landesumweltamt bleibende Verdienste erworben.



Prof. Dr. Matthias Freude
Präsident des Landesumweltamtes Brandenburg

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Luftqualität in Brandenburg im Zeitraum 1991 bis 2000 wird zusammenfassend kommentiert. Im Bedarfsfall werden auch Daten für den Zeitraum vor 1991 in die Bewertung einbezogen, da die Emissions- und Immissionsdaten des Jahres 1991 die Situation vor der Wende vielfach nur grob angenähert widerspiegeln. Im Zeitraum 1988/1990 zeigten sich bereits erste Veränderungen im Emissionsgeschehen.

Die anthropogenen Emissionen sind im Land Brandenburg seit 1989/90 meist erheblich gesunken. Im Vergleich zu 1989 sanken die Emissionen bis zum Jahr 2000 bei SO₂ auf 5,2 %, bei Staub (ohne Schüttgutumschlag) auf 1,4 %, bei NO_x auf 45 % und bei CO₂ auf 67 %. Die Emissionsminderungen resultieren teilweise aus Anlagenstilllegungen und dem Einsatz emissionsärmerer Energieträger, teilweise aus Modernisierung und Neubau von Anlagen. An Beispielen aus der Energiewirtschaft, der Chemie, der Eisen- und Stahlproduktion und der Zementindustrie werden dieser Prozess und die daraus resultierenden spezifischen Emissionssenkungen (Emission bezogen auf die Produktmenge) detailliert illustriert. Für einzelne Schadstoffe konnten die spezifischen Emissionen um zwei Größenordnungen reduziert werden.

Im Verkehrsbereich haben sich die Emissionen bei deutlich gestiegenen Fahrleistungen im Zeitraum 1991 bis 2000 sehr unterschiedlich entwickelt: Die CO₂-Emission ist auf 137 % gestiegen, die NO_x-Emission sank auf 85 %, der Ausstoß von Kohlenwasserstoffen auf 16 % und die Bleiemission praktisch auf Null.

Bezogen auf die Bruttoinlandsproduktion ist die spezifische CO₂-Emission im Land Brandenburg im Jahr 2000 im Vergleich zu 1991 auf etwa 55 % gesunken. Die Treibhausgasemissionen Brandenburgs lagen 1990 bei etwa 130 Mio t CO₂-Äquivalent und 1998 bei 81 Mio t.

Durch umfangreiche on-line- und off-line-Messungen zur Erfassung der Immissionssituation konnten große Kenntnisdefizite

abgebaut und dem Schutz der Bevölkerung und der Umwelt eine solide Datenbasis gegeben werden. Auch in Anbetracht der im Berichtszeitraum erreichten Verbesserungen der Luftqualität kann nunmehr der Umfang der bisherigen Immissionsüberwachung reduziert werden.

Die SO₂-Immissionen sanken im Landesmittel seit 1991 auf 14 % und regionale Unterschiede wurden weitgehend nivelliert. Dagegen zeigte sich bei den NO₂-Immissionen nur an industriebezogenen, an wenigen urbanen Hintergrundmessstellen und Verkehrsmessstellen ein gering sinkender Trend. SO₂- und NO₂-Immissionswerte der TA Luft wurden bei weitem nicht erreicht. Die Ozon-Immission (I1) ruraler Hintergrundmessstellen ist im Landesmittel leicht angestiegen, während an urbanen Hintergrundmessstellen und an industriebezogenen Messstellen kein eindeutiger Trend erkennbar ist. Schwellenwerte für Ozon zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder der Vegetation wurden zeitweise flächendeckend in allen Jahren überschritten. Die Schwebstaubimmissionen sind differenziert, aber deutlich gesunken. Auch das Spurenstoffdargebot über den Schwebstaub (Schwermetalle, Ruß, PAK) ist gesunken, selbst an verkehrsbezogenen Messstellen.

Die mittlere Staubniederschlagsbelastung hat sich im Landesmittel im Zeitraum 1991 bis 2000 auf 27 % verringert. Überschreitungen des Jahresmittelwertes wurden seit 1999 nicht mehr festgestellt. Obgleich die Bulk-Fracht anorganisch gebundenen Stickstoffes in der Niederschlagsdeposition im Berichtszeitraum auf etwa 70 % gesunken ist, wurden Critical Loads-Werte für eutrophierende Stickstoffeinträge in Wäldern häufig überschritten. Nach 1991 bis Mitte der 90er Jahre kam es zu einer leicht wachsenden Versauerung der Niederschläge, die inzwischen wieder leicht rückgängig ist.

Während zu Beginn des Berichtszeitraumes das Immissionsniveau Brandenburgs fast ausschließlich über dem der alten Bundesländer lag, war dies im Jahre 2000 nur noch für wenige Stoffe an wenigen Orten gegeben.

Summery

The report summarises and reviews the development of air quality in the state of Brandenburg between 1991 and 2000. If necessary, pre-1991 data is also included into this evaluation, because emission and immission data of 1991 in many instances only provide a rough approximation to the state of affairs before the changes. As far as emissions are concerned, first shifts were seen as early as 1988/90.

Since 1989/90 most anthropogenic emissions in the state of Brandenburg fell significantly. Compared to 1989 those of SO₂ had – by the year 2000 - dropped to 5.2 %, for dust (without bulk materials handling) to 1.4 %, for NO_x to 45 % and those of CO₂ to 67 %. Such emission reductions in part result from plant closures and the use of energy carriers with lower rates of emission, partly from modernisation and the construction of new facilities. The report quotes examples from energy management, chemical industry, iron and steel makers as well as the cement-industry to provide detailed descriptions of those processes and resultant lowerings of specific emissions (emissions as related to amount of product). Specific emissions of certain pollutants were reduced by an order of two.

Between 1991 and 2000 the development of traffic-related emissions varied considerably, while mileages rose markedly. Emissions of CO₂ went up to 137 %, NO_x emissions fell to 85 %, those of hydrocarbons fell to 16 % and lead emissions fell to practically zero.

In 2000 and in relation to GDP, specific CO₂ emissions in the state of Brandenburg fell to about 55 % of their 1991 values. In 1990 Brandenburg's greenhouse gas emissions amounted to about 130 megatons CO₂ equivalent and they had fallen to about 81 megatons by 1998.

Comprehensive on line and off line measurements to register immission data helped reduce large gaps in knowledge and provided a solid database to protect people and environment.

Considering also the improvements in air quality achieved over the reporting period, the present range of immission monitoring may now be reduced.

Since 1991 SO₂ immissions averaged out over the state fell to 14 per cent. Regional differences were largely levelled out. As for NO₂ immissions, however, the tendency of a slow drop was only registered at industry-related as well as at a few urban background and traffic measuring points. SO₂ and NO₂ immission values of the Technical Instructions on Air Quality Control were missed by a long way. On average and across the state, ozone immissions (I1) registered at rural background measuring points rose slightly, whereas there is no such obvious trend at urban background as well as at industry-related measuring points. At times, threshold values for ozone to protect human health or vegetation were extensively exceeded in all years. Suspended dust immissions fell to varying degrees, but clearly. There was also a fall in the supply of trace substances via suspended dust (heavy metals, soot, and polycyclic aromatic hydrocarbons) as registered even at traffic-related measuring points.

Median dust deposition loads across the entire state fell to 27 % over the 1991-2000 period. Since 1999, the annual mean value was never exceeded. Although bulk freights of inorganically bonded nitrogen deposited by precipitation fell to some 70 % in the reporting period, Critical Loads of eutrophic nitrogen deposits in forests were frequently exceeded. After 1991 and until the mid-90ies there was a slight increase in precipitation acidification, which, in the mean time, has fallen off slightly.

While at the beginning of the period under review, Brandenburg's immission levels ranged almost exclusively above those of the old federal states, this applied only to a few substances and at few locations in 2000.

1 Organisation der Emissions- und der Immissionsüberwachung im Land Brandenburg

Entsprechend der parlamentarischen Entscheidung für eine zweistufige Verwaltung in Brandenburg fungieren für den Immissionsschutz als oberste Landesbehörde das Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung (MLUR) und als untere regional wirkende Sonderbehörden des Landes die Ämter für Immissionsschutz (ÄfI) mit Genehmigungs-, Kontroll- und Vollzugsaufgaben. Das Landesumweltamt (LUA) ist in der Qualität seiner Aufgabenverantwortung sowohl wissenschaftlich-technische Fachbehörde für das Ministerium als auch dessen obere Behörde für den Vollzug besonders komplexer und anspruchsvoller Aufgaben. Im kommunalen Bereich werden Belange des verhaltensbezogenen Immissionsschutzes vorwiegend durch die Ordnungsbehörden wahrgenommen [1].

Auf der Grundlage der Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Immissions- und Strahlenschutzes (Immissionsschutzzuständigkeitsverordnung – ImSchZV-Bbg) [2] sind die ÄfI zuständige Behörde für die Ermittlung von Emissionen (§§ 26 ff. BImSchG: Emissionsüberwachung), die auch den Vollzug zu § 27 (Emissionserklärung nach der 11. BImSchV [4]) einschließt. Dieser Bereich wiederum ist Teil der umfassenden Aufgabe der ÄfI nach § 52 (Überwachung), die auch den Vollzug der Störfallverordnung (12. BImSchV) [5] umfasst.

Die Immissionsschutzzuständigkeitsverordnung des Landes Brandenburg ordnet alle Fragen der immissionsseitigen Überwachung von Luftverunreinigungen dem LUA zu. Dazu gehören generell die „Feststellungen über Luftverunreinigungen“, die Aufstellung und Verwaltung des anlagen- und des verkehrsbezogenen Emissionskatasters (als notwendige Informationsquelle für eine sachgerechte Immissionseinschätzung), die Zusammenarbeit an das MLUR für die Aufstellung von Luftreinhalteplänen (aktuell von Bedeutung im Rahmen der Umsetzung der EU-Luftqualitätsrichtlinien) und die Umsetzung der 23. BImSchV [6] (Prüfung und Erhebung der Forderung nach Beschränkung oder Verbot des Kfz-Verkehrs aufgrund der Beurteilung der vorhandenen Immissionssituation im straßennahen Raum).

Die Struktur der Immissionsüberwachung wird im Wesentlichen von drei Systemen gebildet. Zur Gewinnung von Echtzeitdaten, insbesondere zur Ozonüberwachung und zur Öffentlichkeitsinformation gemäß EU-Richtlinie 1999/30/EG (1. Tochterrichtlinie/TRL [8] zur EU-Rahmenrichtlinie/RRL Luftqualität [9]) sowie zur langzeitlichen Kontrolle von Stand und Entwicklung der Luftqualität, steht ein automatisches stationäres Messnetz zur Verfügung (Telemetrisches Luftgütemessnetz Brandenburg/

TELUB). Es dient der repräsentativen Erfassung der Luftgüte im Land Brandenburg und wurde nach bundeseinheitlichen Richtlinien konzipiert und aufgebaut.

Zweites Element sind nichttelemetrische kontinuierliche Pegelmessungen, die ebenfalls stationär erfolgen und der langzeitlichen Immissionskontrolle dienen. Allerdings stehen die Messbefunde nicht in Echtzeit an einer Messnetz-Zentrale zur Verfügung. Mit diesen manuellen Messeinrichtungen werden neben der Schwebstaubprobenahme zur Bestimmung gesundheitsrelevanter Staubinhaltsstoffe vorrangig die Staubbiederschlagsbeprobungen und Niederschlagsdepositionsmessungen vollzogen.

Von geringerer Bedeutung sind diskontinuierliche Immissionsmessungen in Form der Rastermessnetze. Mittels mobiler Probenahme- und Messeinrichtungen wird dabei die räumliche Struktur von Konzentrationsfeldern erfasst, vorzugsweise in Städten, die gegenüber dem Umland noch einen relativ hohen Gradienten der Luftqualität aufweisen.

Für die Ordnungsbehörden der Kommunen, Land- und Stadtkreise, zu denen auch das Sachgebiet Immissionsschutz des jeweiligen Umweltamtes zählt, gibt es nach [1, 2] keinen eigenständigen Aufgabenbereich der Überwachung von Luftverunreinigungen (Immissionen). Sie haben lediglich bei verhaltensbedingten Belästigungen und schädlichen Umwelteinwirkungen (z.B. Geruchsbelästigungen, unnötiges abgaserzeugendes Laufen von Motoren) einzugreifen und gegebenenfalls auch den Betrieb nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen zu untersagen. Grundsätzlich ermächtigt das LImSchG Gemeinden auch, bestimmte Anlagen in Satzungsgebieten nicht oder nur beschränkt zuzulassen, bestimmte Brennstoffe vorzuschreiben oder immissionsträchtige Tätigkeiten (z.B. größere Feuer im Freien) einzuschränken oder zu untersagen.

Aufgrund der Bedeutung des Immissionsschutzes für die Akzeptanz des Braunkohlenbergbaus verfügte das damalige Oberbergamt des Landes Brandenburg (OLB) 1993 die Richtlinie „Immissionsschutz in Braunkohlengebieten“ [7]. Mit dieser Richtlinie wurde ein verbindlicher Rahmen für Immissionsschutzmaßnahmen der Bergverwaltung einschließlich der zulässigen Immissionswerte im Bereich Staub und Lärm vorgegeben. Für die Luftschadstoffüberwachung wird die TA Luft sinngemäß auf die Staubbiederschlagserfassung angewendet. Schwebstaubmessungen erfolgten bisher nur sporadisch und orientierend.

2 Entwicklung der Emissionen

Die in Ostdeutschland mit der Wende einhergehenden politischen Umwälzungen und der anschließende wirtschaftliche Umbau hatten auch im Land Brandenburg nachhaltigen Einfluss auf die durch Industrie und Gewerbe, Haushalte und Kleinverbraucher und durch den Verkehr verursachten Emissionen

von Luftverunreinigungen. Die industrielle Struktur hat sich seit 1990 grundlegend gewandelt.

Die einheimische Braunkohle war Hauptenergieträger in der DDR. Sie wurde in den Fördergebieten konzentriert verstromt

bzw. zu Briketts, Koks und Stadtgas verarbeitet. Ansonsten wurde sie zur regionalen und lokalen Energie- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Verbunden war diese einseitige Energieträgerausrichtung bei unzureichender Umweltschutztechnik mit hohen Luftschadstoffemissionen, vor allem von Schwefeldioxid und Staub.

Die Braunkohle spielt auch heute eine wichtige Rolle im Energieträgermix zur Deckung des Energiebedarfs in Brandenburg. Jedoch erfolgt deren Verstromung nur noch in neu errichteten bzw. modernisierten Kraftwerken. Die Stadtgas- und die Koksproduktion sind eingestellt und der Bedarf an Briketts ist drastisch zurückgegangen. Bei der regionalen Fernwärmeerzeugung spielt die Braunkohle nur eine untergeordnete Rolle; sie wurde in ihrer Dominanz durch Erdgas und Heizöl abgelöst.

An den früheren Industriestandorten der chemischen Industrie (Schwedt/O., Schwarzheide, Spremberg, Premnitz, Bernau, Velten, Oranienburg, Wittstock, Nauen, Biesenthal, Staaken, Guben), der Zellstoff- und Zelluloseherstellung (Wittenberge), der Stahlproduktion (Eisenhüttenstadt, Brandenburg a.d.H., Hennigsdorf), der Glasindustrie (Döbern, Schönborn, Annahütte), der Baustoffherstellung (Rüdersdorf) und der Metallverarbeitung kam es zu umfangreichen Anlagenstilllegungen veralteter und nicht mehr konkurrenzfähiger Betriebe mit z.T. sehr energie- und rohstoffintensiven Technologien. Weiter betriebene Anlagen wurden mit moderner Umwelttechnik ausgestattet oder es wurden neue Produktionsanlagen in Betrieb genommen, so dass dort heute mehr oder weniger umfangreich moderne Industrie mit fortschrittlicher energie- und umwelt-effizienter Technologie angesiedelt ist.

Im Bereich der kleinen und mittelständischen Betriebe, die in der DDR-Wirtschaft eher eine untergeordnete Rolle spielten, war mit dem politischen Wandel ein erheblicher Aufschwung zu verzeichnen. Die heute bestehenden Betriebe sind vielfach Neugründun-

gen, bei deren Inbetriebnahme hohe Anforderungen an die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb der Anlagen zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen sowie zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen eingehalten werden mussten und die in der Regel somit dem Stand der Technik entsprechen.

Private Haushalte und kleingewerbliche Betriebe wurden zunehmend mit modernen Heizungsanlagen auf Erdgas- und Heizölbasis zur Raumwärme- und Warmwasserbereitung ausgestattet. Die früher auch in diesem Bereich vorherrschende Kohleheizung hat ihre Vormachtstellung längst verloren. Im Landesdurchschnitt werden z.B. noch etwa 17 % der Wohnungen mit Kohle beheizt. Damit verbunden sind sehr viel geringere Emissionen von Luftschadstoffen. Außerdem wirkten sich umfangreiche Sanierungs- und Wärmedämmmaßnahmen am Gebäudebestand positiv aus.

Im Verkehrsbereich haben der Kraftfahrzeugbestand und das Verkehrsaufkommen im Vergleich zu den 80er Jahren enorm zugenommen. Damit trägt der Straßenverkehr besonders bei Stickstoffoxiden, Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid wesentlich zu den Gesamtemissionen im Land Brandenburg bei. Trotz ständig gestiegener Bestands- und Fahrleistungen in den 90er Jahren konnten die Emissionen durch fahrzeugtechnische Maßnahmen und Verbesserung der Kraftstoffqualitäten in der zweiten Hälfte des Jahrzehnts gesenkt werden.

Details der Emissions- und Immissionssituation im Land Brandenburg vor der Wende sind der Studie „Luftqualität 1975 bis 1990 – Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg“ [10] zu entnehmen.

Die nachfolgend vorgestellten Emissionsentwicklungen konnten nicht immer auf gleiche Jahresscheiben abgestellt werden, da verschiedenartige Datenquellen genutzt werden mussten.

2.1 Emissionen stationärer Anlagen

2.1.1 Emissionsentwicklung ausgewählter Schadstoffe

Die Emissionen von **Schwefeldioxid (SO₂)**, **Staub** und **Stickstoffoxiden (NO_x)** aus stationären Anlagen, die maßgeblich mit der Erzeugung von Strom und Wärme auf Braunkohlenbasis, mit der Metallurgie und der Brikettproduktion verbunden waren und die bei SO₂ und Staub auf einem sehr hohen Niveau lagen, sind seit 1989 bis im Jahr 2000

- bei Schwefeldioxid um 95 % auf 64 kt,
- bei Staub um 99 % auf 7 kt,
- bei Stickstoffoxiden um 73 % auf 40 kt,
- bei Kohlenmonoxid um 82 % auf 119 kt gesunken.

Die Entwicklung der Emissionen stationärer Anlagen (einschließlich der Wärmeerzeugung in Haushalten und im Gewerbe) zeigt Abbildung 2.1.

Bei **genehmigungsbedürftigen Anlagen** sind hohe Senkungsraten mit der Umsetzung der Großfeuerungsanlagenverordnung [11] erzielt worden. Die Verordnung gilt für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung > 50 MW für Kohle und Öl und > 100 MW für Gas und betraf damit Kraftwerke, Fernheizwerke und

Industriefeuernngen, die bis Mitte 1996 strenge Emissionswerte einhalten oder aber im Rahmen der Restnutzung bis spätestens 1. April 2001 stillgelegt werden mussten.

Darüber hinaus wurden Sanierungskonzepte entsprechend den Anforderungen der TA Luft [12] für alle genehmigungsbedürftigen Altanlagen wirksam, die nach einem Stufenplan die Vorschriften für Neuanlagen zu erfüllen hatten oder stillgelegt werden mussten. In Abhängigkeit von Überschreitungen der zugelassenen Emissionswerte und der Art der emittierten Stoffe wurden unterschiedliche Sanierungsfristen von sofort bis längstens neun Jahre angeordnet, so dass Altanlagen, die über das Jahr 1999 hinaus betrieben werden sollten, auf jeden Fall die Anforderungen der TA Luft erfüllen mussten.

Auch wenn in einigen Bereichen nach der Wende das Produktionsvolumen deutlich reduziert wurde, sind die erreichten Emissionsminderungen nur etwa zur Hälfte auf diese Entwicklung zurückzuführen. An Hand einer wahrscheinlich nicht ganz kompletten Übersicht über stillgelegte Betriebe und deren ehemalige Emissionen wurde für das Jahr 1997 der Anteil durch Betriebsstilllegungen an der landesweiten Emissionsminderung bei SO₂ mit 48 %, bei Staub mit 43 % und bei NO_x mit 40 % ermittelt.



Abb. 2.1: Entwicklung der Gesamtemission stationärer Anlagen im Land Brandenburg (Angaben in kt/a)

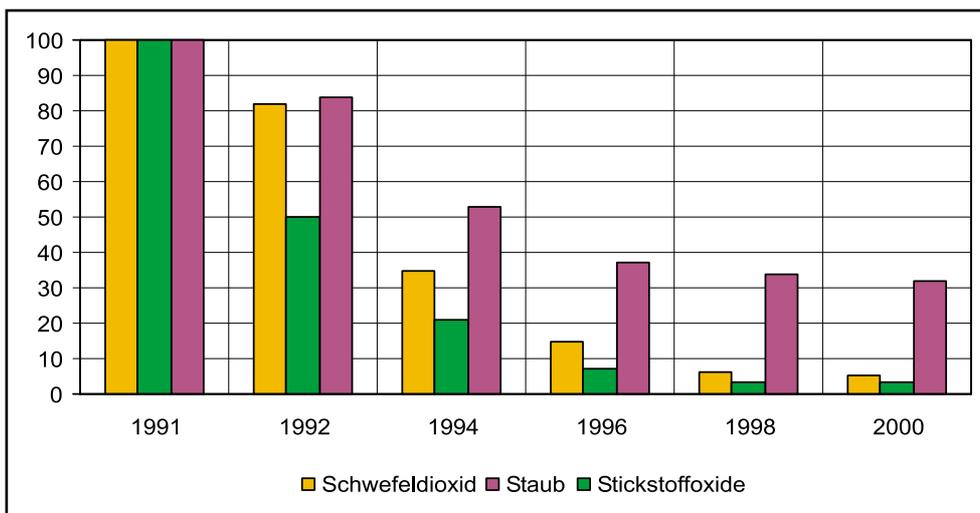


Abb. 2.2: Relative Entwicklung der Emissionen stationärer Anlagen bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt im Land Brandenburg (%)

Beispielsweise die SO₂-Minderung an Altanlagen durch Entschwefelungsanlagen oder Ersatzneubau mit Entschwefelungsanlagen setzte erst nach 1992 ein und kam erst im Jahr 2000 zu einem vorläufigen Abschluss. Neben den Stilllegungen führten Anlagensanierungen zu erheblichen Emissionsminderungen, die sich in der Entwicklung der spezifischen Emissionen widerspiegeln, wie im Kapitel 2.1.2 an einigen typischen Beispielen illustriert wird. Die relative Entwicklung der Emissionen bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt (in Preisen von 1995) im Land Brandenburg zeigt im Vergleich zum Jahre 1991 eine sehr positive Tendenz (Abb. 2.2).

Da die Verbrennung von Braunkohle zu vergleichsweise geringen NO_x-Emissionen führt, ist die erreichte absolute NO_x-Minderung wesentlich geringer als die SO₂-Minderung ausgefallen.

Die räumliche Verteilung der Industrie und damit die räumliche Verteilung der Emissionen zeigte im Land Brandenburg – insbesondere vor der Wende und zu Beginn des Berichtszeitraumes – ein größeres Südost-Nordwest-Gefälle, das bis zum Jahr 2000 deutlich reduziert wurde. Anschaulich wird diese Situation bei der getrennten Darstellung der Emissionen in den einzelnen Aufsichtsbezirken der Ämter für Immissionsschutz (Abb. 2.3 bis 2.5).

In allen Regionen des Landes traten vor allem bis 1996 erhebliche Emissionsminderungen ein, die im Wesentlichen den Veränderungen bei Großemittenten (Stilllegungen von Altanlagen, Ertüchtigung und Neubau von Anlagen) zuzuschreiben waren (s. Abschnitt 2.1.2).

Abb. 2.3:
Emission von Schwefeldioxid durch genehmigungsbedürftige Anlagen in den Aufsichtsbezirken der Ämter für Immissionsschutz (Angaben in kt/a)

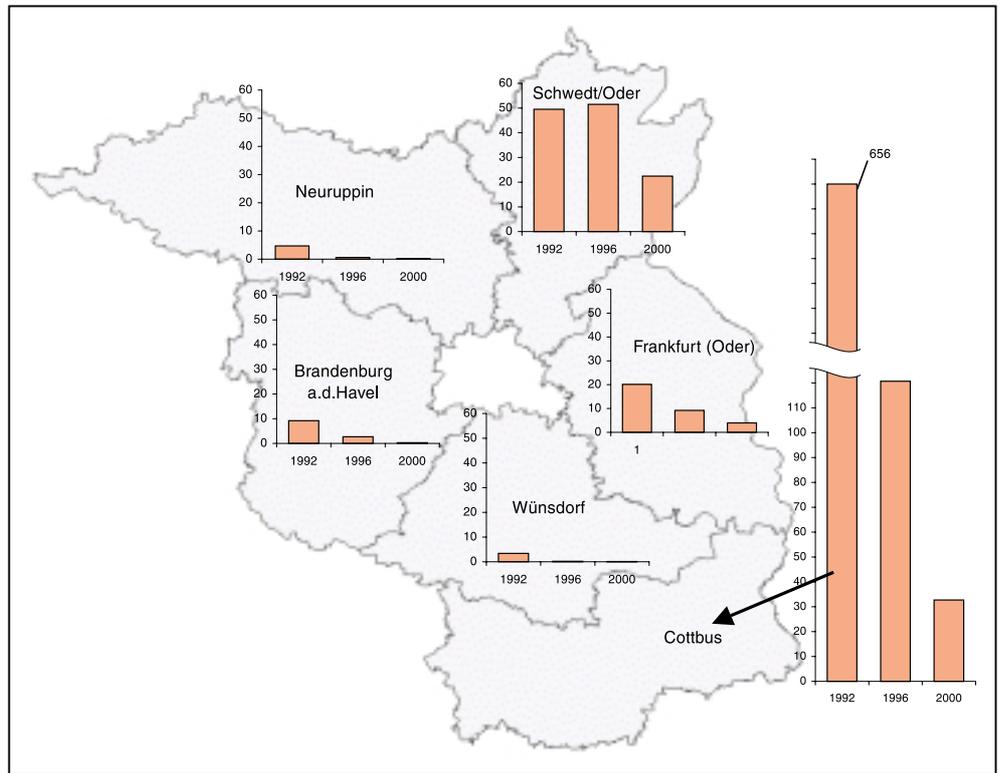
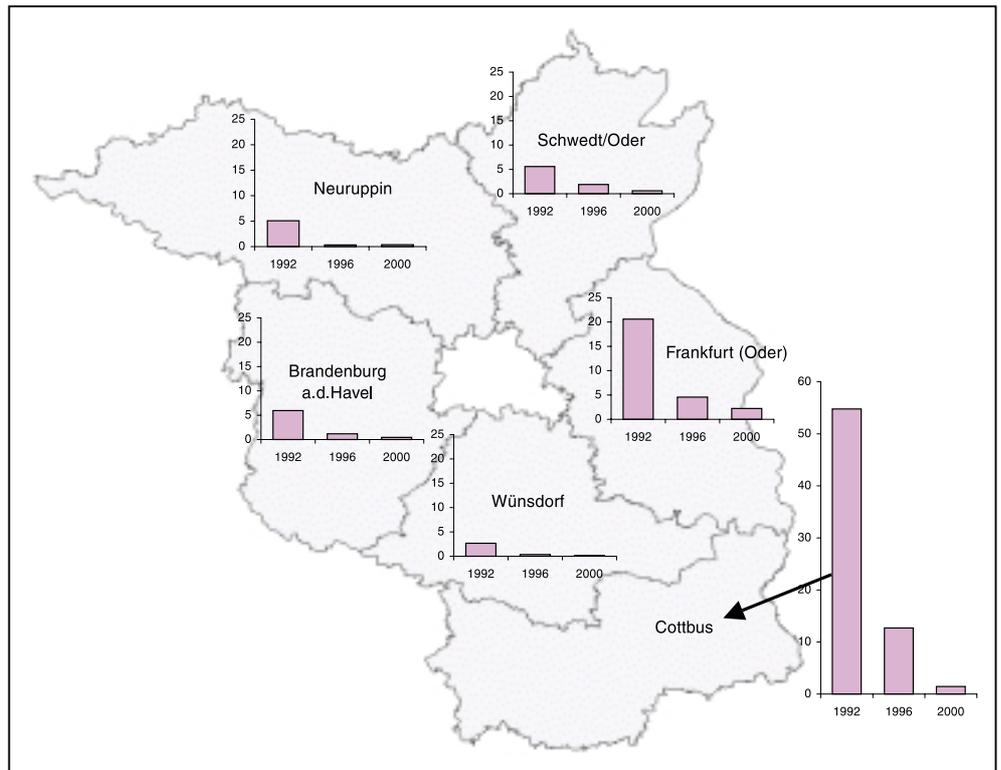


Abb. 2.4:
Emission von Staub durch genehmigungsbedürftige Anlagen in den Aufsichtsbezirken der Ämter für Immissionsschutz (Angaben in kt/a)



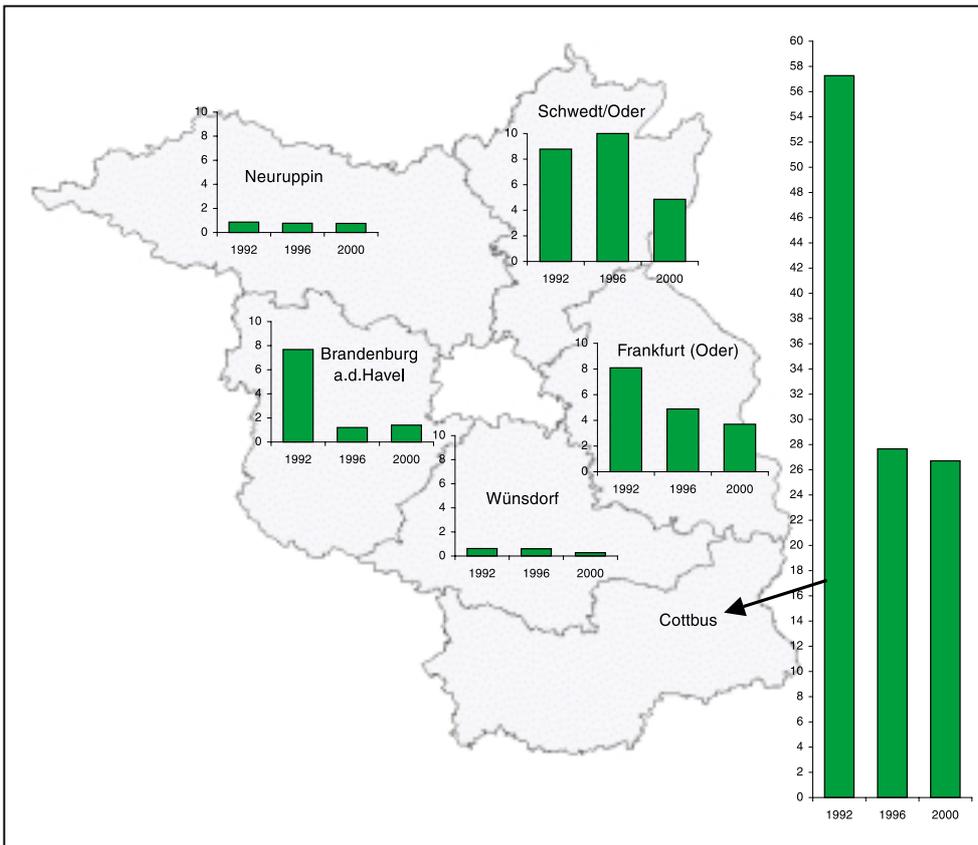


Abb. 2.5:
Emission von Stickstoffoxiden durch genehmigungsbedürftige Anlagen in den Aufsichtsbezirken der Ämter für Immissionschutz (Angaben in kt/a)

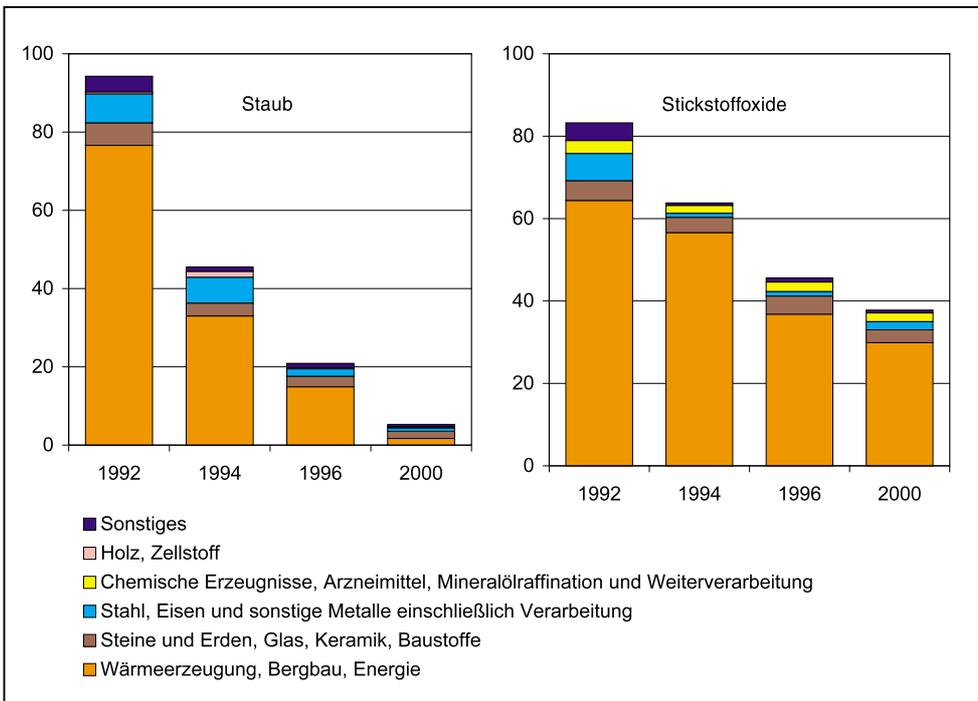


Abb. 2.6:
Emissionsentwicklung nach Anlagenarten im Land Brandenburg (Angaben in kt/a)

Der rapide Emissionsrückgang in der Industrie bewirkte, dass bereits 1995 durch Haushalte und Kleinverbraucher in den Aufsichtsbezirken Neuruppin und Wünsdorf höhere SO_2 -Emissionen verursacht wurden als durch genehmigungsbedürftige Anlagen. Kleinstädtisch und teilweise auch regional ausgedehnter bis auf Kreisebene ist die Emittentengruppe Haushalte und Kleinverbraucher neben dem Verkehr und dem Gewerbe Hauptquelle für Luftverunreinigungen geworden.

Bei den kleinen Feuerungsanlagen in Privathaushalten, Handwerks- und Gewerbebetrieben und öffentlichen Gebäuden, die unter die Verordnung über Kleinf Feuerungsanlagen [13] fallen, hat die Modernisierung der Heizungsanlagen zu deutlichen Veränderungen im Emissionsgeschehen geführt.

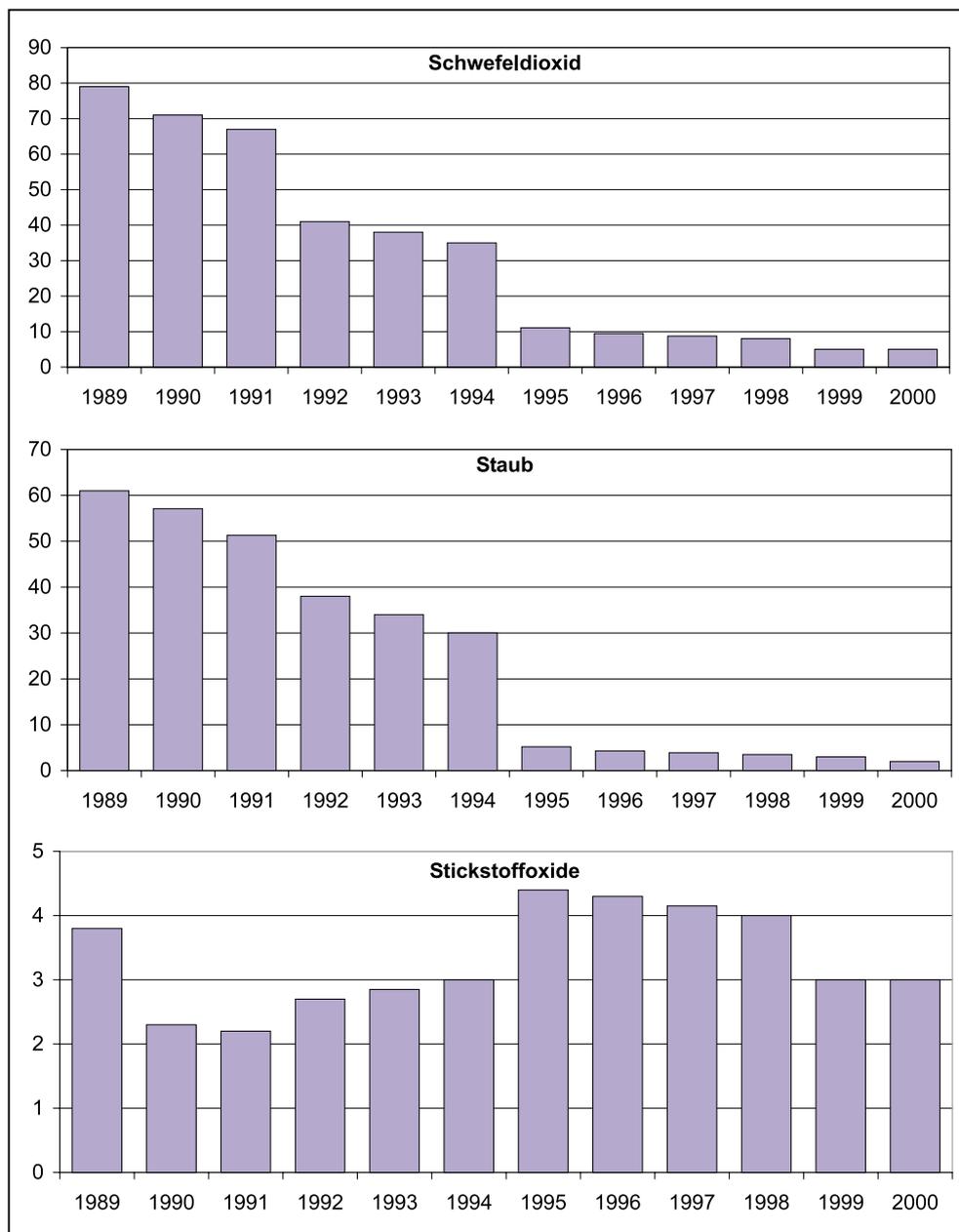


Abb. 2.7: Emissionsentwicklung bei Kleinfeuerungsanlagen im Land Brandenburg (Angaben in kt/a)

Anstelle veralteter Kohleheizungen im vorhandenen Gebäudebestand, aber auch bei neu errichteten Gebäuden wurden in den letzten Jahren vorzugsweise Gas- und Ölheizungen installiert. Diese weisen einen hohen technischen und Umweltstandard auf und garantieren bei entsprechender Wartung einen energie-sparenden Betrieb und geringe Emissionen. Die 1. BImSchV legt hinsichtlich eines sparsamen Energieeinsatzes höchstzulässige Abgasverluste fest, die nach Übergangsregelungen bis zum Jahr 2004 einzuhalten sind. Öl- und Gasheizungen, die den Brennstoff besonders schlecht ausnutzen, was von den Bezirksschornsteinfegern jährlich durch Messung festgestellt wird, müssen als erste umgerüstet oder ersetzt und damit dem Stand der Technik angepasst werden. Weitere emissionsbegrenzende Maßnahmen sind Wärmeschutzmaßnahmen im Zuge der vorgenommenen Gebäuderenovierungen und -sanierungen bis hin zur Niedrigenergiehaus-Bauweise bei Neubauten, die Einhaltung von Brennstoffqualitäten und -zusammensetzungen, aber auch die verstärkte Nutzung alternativer Energien. Förderprogramme unterstützen diese Entwicklung.

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlichster Quellen und der ungeheuren stofflichen Vielfalt **flüchtiger organischer Verbindungen (VOC)** ist die VOC-Emission nur in sehr grober Näherung abschätzbar.

Für die Bundesrepublik wird die Entwicklung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC) für stationäre Anlagen und Verwendungen (ohne Verkehr) wie folgt angegeben [14]:

Emission in kt/a	1990	1999
Lösemittelverwendung	1.160	1.000
Industrieprozesse ohne Lösemittelverwendung	153	138
Verteilung von Ottokraftstoff	220	54
Sonstige anthropogene Quellen	158	72
Gesamt	1.691	1.264

Für die neuen Bundesländer einschließlich Berlin wird die Entwicklung der NMVOC-Gesamt-Emission (einschließlich Verkehr) wie folgt beziffert [15]:

1989	798 kt/a
1991	715 kt/a
1994	395 kt/a.

Für das Jahr 1994 wurden für Brandenburg bei NMVOC

- die anlagenbedingten Emissionen mit ca. 20 kt [16], davon die Emissionen von genehmigungspflichtiger Anlagen mit ca. 9 kt [17],
- die Emissionen aus der Konsumgüterverwendung mit 7 kt [16],
- die Emissionen aus dem Straßenverkehr mit 44 kt (siehe Kapitel 2.2) abgeschätzt.

Für den Zeitraum um 1995 wurde die NMVOC-Emission Brandenburgs aus Feuerungsanlagen und sonstigen nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen auf 6 kt/a bzw. 5 kt/a und für das Jahr 2000 auf 2,0 kt/a bzw. 1,5 kt/a geschätzt. Die Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen [18] führte seit 1990 zu einer erheblichen Einsatzbeschränkung und Emissionsminderung bei dieser Stoffgruppe.

Insbesondere die Verwendung und die Herstellung von Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffen (FCKW) als Lösungs- und Reinigungsmittel, Treibmittel, Feuerlöschmittel und Kältemittel wurde innerhalb weniger Jahre massiv eingeschränkt bis zum völligen Verbot in den wenigen bis dahin verbliebenen Einsatzbereichen ab 01.01.2000. Ab 01.01.1995 konnte bereits von einem fast vollständigen Ausstieg aus der Produktion und Nutzung der FCKW, der Halone, von Methylchloroform und von Tetrachlorkohlenstoff durch die Anwender und Hersteller gesprochen werden.

Den Anforderungen zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen (20. BImSchV [19]) und bei der Betankung von Kraftfahrzeugen (21. BImSchV [20]) wurde seit 1992 u.a. durch Einführung der Gaspindelung bzw. Gasrückführung bei Anlieferung der Ottokraftstoffe und Betankung der Fahrzeuge entsprochen. Die Maßnahmen an den Tankstellen zur Erfassung der bei der Betankung austretenden Kraftstoffdämpfe mittels Gasrückführungssystemen in den Lagertank mussten bis Ende 1997 realisiert sein. Mit der vollständigen Umsetzung der 20. BImSchV sollen die

Emissionen aus der Lagerung und dem Umschlag durch Kraftfahrstoffverdunstung um 90 % verringert werden. Bei Neuanlagen sollten die Anforderungen bereits am 01.01.1996 eingehalten werden und bei Altanlagen nach Ablauf bestimmter Übergangsfristen, spätestens ab 01.01.2005.

Nach grober Einschätzung sind im Land Brandenburg die anlagenbedingten NMVOC-Emissionen zwischen 1991 und 2000 auf etwa 1/5 gesunken.

2.1.2 Beispiele der Emissionsentwicklung in ausgewählten Industriezweigen

2.1.2.1 Kohle- und Energiewirtschaft

Die Luftqualität im Süden Brandenburgs wurde bis zur Mitte der 90er Jahre vor allem durch **Förderung und Veredelung der Braunkohle** im „Lausitzer Revier“ geprägt. Das Lausitzer Revier umfasste 1989 zehn Tagebaue in Brandenburg und sieben Tagebaue im Norden Sachsens, von denen im Jahre 2000 nur noch drei in Brandenburg und einer in Sachsen aktiv waren. 1989 wurden auf dem Gebiet des heutigen Landes Brandenburg 113,6 Mio. t Braunkohle gefördert, im Jahr 1990 93,8 Mio. t, im Jahr 1997 37 Mio. t und im Geschäftsjahr 2000/2001 immerhin wieder 42,5 Mio. t [21, 22, 23, 26, 30].

Alein in Brandenburg wurden für die Braunkohleförderung im Zeitraum 1960 bis 2000 etwa 400 km² Land in Anspruch genommen. 1998 bestand noch Rekultivierungsbedarf auf ca. 230 km² [22]. Devastierte Flächen führen bei Windgeschwindigkeiten oberhalb 4,5 m/s und fehlenden Niederschlägen über 48 Stunden zumindest in deren näherer Umgebung zu signifikant erhöhter Staubimmission [24]. Nicht nur die Schrumpfung des Rekultivierungsbedarfes und der bergbaulich genutzten Tagebauflächen, sondern auch planerische Maßnahmen (z.B. Erhalt natürlicher Hindernisse für die Staubverfrachtung) oder aktive Staubschutzmaßnahmen (z.B. Beregnung oder Versiegelung staubender Flächen, Sprühgalerien, Ausrüstung von Förderanlagen) führten zu deutlichen Emissionsminderungen.

Die Zahl der produzierenden **Brikettfabriken** sank in Brandenburg von 18 im Jahre 1989 auf eine im Jahr 2000 [25, 1993]. Der Umfang der Brikettproduktion wurde von 20,5 Mio. t im Jahr 1989, 18,2 Mio. t im Jahr 1990 bis auf 0,7 Mio. t im Jahr 2000 reduziert [22, 23, 28, 30]. Die relative Entwicklung der Brikettproduktion im Vergleich zum Jahr 1991 zeigt Abbildung 2.8. Im Jahr 2000 wurden noch 6,7 % der Produktion des Jahres 1991 erreicht [22, 23, 25 bis 30].

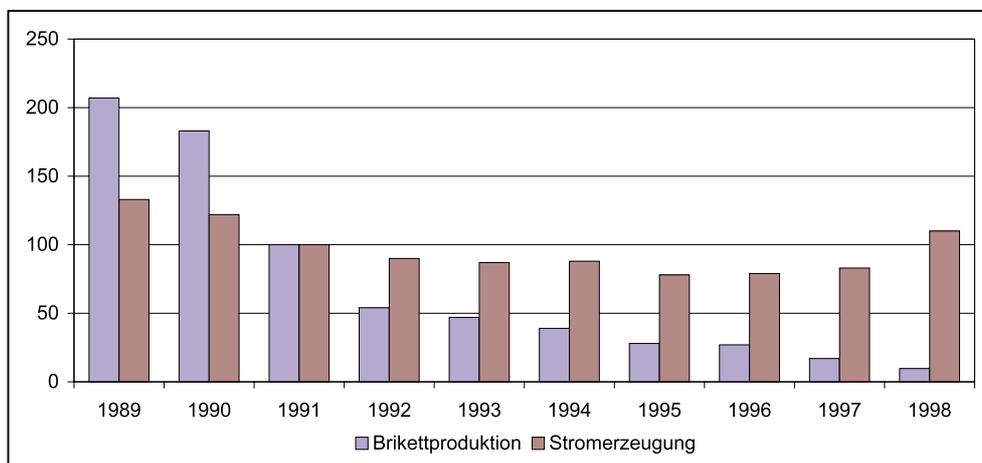


Abb. 2.8: Entwicklung der Brikettproduktion und der Stromerzeugung im Land Brandenburg im Vergleich zu 1991 (Angaben in %)

Durch die Ertüchtigung und Erneuerung der Anlagen wurden aber auch maßgebliche Minderungen der spezifischen Emissionen erreicht, wie das Beispiel der einzig noch produzierenden Brikettfabrik (Schwarze Pumpe) zeigt:

1989: ca. 1,5 kg Staubemissionen pro t Trockenkohle [30]
 1995: ca. 0,19 kg Staubemissionen pro t Trockenkohle [23]
 2000: ca. 0,08 kg Staubemissionen pro t Trockenkohle [23]

Dabei ist anzumerken, dass die spezifische Staubemission der Brikettfabriken in Schwarze Pumpe im Landesvergleich noch moderat war. Im Landesmittel aller Brikettfabriken lag die spezifische Staub-Emission 1989 bei etwa 3 kg/t [31]. Die Gesamt-Staubemission aus Brikettfabriken ist von 1989 bis 2000 auf ca. 0,1 % gesunken.

Von erheblicher lufthygienischer Bedeutung waren bis 1994 die Geruchsträger-Emissionen bei der **Produktion von Stadtgas und Koks aus Braunkohle**. Die Koksproduktion wurde 1992 eingestellt (Produktion 1989: 2,5 Mio. t), die Stadtgasproduktion 1995 (Produktion 1989: 5,7 Mrd. Nm³).

Auch die **Verstromung von Braunkohle** führte zu erheblichen Beeinträchtigungen der Luftqualität. Im Jahr 1989 wurden in Brandenburg 46,8 TWh [29] erzeugt, im Jahr 1991 35,2 TWh [28]. Die Entwicklung der Produktion zeigt Abbildung 2.8. Vor allem durch die Stilllegung der emissionsintensivsten Anlagen, durch Neubau und Modernisierung von Altanlagen wurden starke Rückgänge der Emissionen erreicht.

Die endgültige Stilllegung besonders umweltbelastender und wirtschaftlich perspektivloser Kraftwerke erfolgte zu folgenden Zeitpunkten:

KW Plessa	01.05.1992
KW Finkenheerd	30.09.1992
KW Trattendorf	31.03.1996
KW Lübbenau	30.06.1996
KW Vetschau	30.06.1996
IKW Schwarze Pumpe	30.06.1998
IKW Schwedter Papier und Karton	15.03.1999
HKW Cottbus	30.09.1999

Allein durch Modernisierung und Ersatzneubau von Kraftwerken ist seit 1989 die SO₂-Emission auf 52 %, die Staubemission auf 59 % und die NO_x-Emission auf 66 % gesunken.

Die Ablösung der Altkraftwerke (Schwarze Pumpe, Trattendorf und Plessa) durch das moderne **Kraftwerk Schwarze Pumpe** (2 x 800 MW mit Kraft-Wärme-Kopplung) auf Basis einheimischer Braunkohle brachte eine deutliche Entlastung der Umwelt und nicht zuletzt zusätzlich eine Steigerung des Gesamtwirkungsgrades auf für braunkohlegefeuerte Kondensationskraftwerke als Spitzenwert anzusehende ca. 40 %. Der spezifische Brennstoffverbrauch gegenüber den Altanlagen konnte damit erheblich gesenkt werden. Moderne Feuerungstechnologien sowie leistungsstarke Rauchgasentstaubungs- und Rauchgasentschwefelungseinrichtungen tragen maßgeblich zur Minimierung der Emission von Luftschadstoffen bei. Nach den Projektdaten [32] reduzieren sich die Emissionen pro kWh in folgenden Größenordnungen: CO₂ auf 72 %, SO₂ auf 5 %, NO_x auf 40 % und Staub auf 2 %.

Das technische Konzept des **HKW Cottbus** ist ein weiteres Beispiel einer ingenieurtechnischen Spitzenleistung. Es besteht im

Kern aus einer druckaufgeladenen Braunkohle-Wirbelschicht, die nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung arbeitet. Die Gesamtleistung der Anlage beträgt 70 MW_{el} (ohne Spitzenkessel) und 120 MW_{th}. Zusätzlich zu der Braunkohleeinheit wurden erdgas- bzw. heizölgefeuerte Spitzenlastkessel mit einer thermischen Leistung von ca. 200 MW installiert. Der durch innovative Schritte bei der technologischen Prozessführung erheblich verbesserte Wirkungsgrad, welcher bei deutlich über 40 % liegt, führt zu einer Brennstoffeinsparung von 10 bis 15 % gegenüber der herkömmlichen Kohleverstromungstechnologie. Niedrige Verbrennungstemperaturen (830 bis 860 °C) und die Beimischung eines Sorbens (Kalkstein) zum Wirbelbett senken die NO_x- und SO_x-Emissionen nachhaltig. So können die Schwefelemissionen bei der Verbrennung um 90 bis 98 Prozent reduziert werden.

Die Entwicklung der spezifischen Emission der VEAG-Kraftwerke in Brandenburg zeigt Abbildung 2.9 (nach [33]). Der leichte Anstieg der spezifischen SO₂-Emission nach 1997 ist bedingt durch die "betriebswirtschaftliche Optimierung" der Rauchgasentschwefelungsanlagen, wobei die Emissionsgrenzwerte weiter sicher eingehalten werden [29].

Zusammenfassend kann abgeschätzt werden, dass in der Kohle- und Energiewirtschaft des Landes Brandenburg die Emissionen des Jahres 1999 im Vergleich zu 1989 bei

- Staub auf unter 0,5 %,
 - SO₂ auf ca. 3 %,
 - NO_x auf ca. 28 %
- gesenkt wurden.

2.1.2.2 Chemische Industrie

– BASF Schwarzheide GmbH

Die Emissionen aus Altanlagen für die Produktion wurden durch Neubau, Modernisierung und Optimierung der Produktionsprozesse oder Stilllegung entscheidend gesenkt. Auch die erheblichen Geruchsbeeinträchtigungen in den angrenzenden Orten konnten damit beseitigt werden. Das völlig veraltete Kohlekraftwerk (ohne Rauchgasbehandlung) wurde durch ein neues GuD-Kraftwerk auf Erdgasbasis ersetzt. Die vorhandene Abfallverbrennungsanlage wurde grundlegend modernisiert und mit einer zweistufigen Rauchgasreinigung ausgerüstet. Damit ist eine sichere Einhaltung der Vorgaben des BImSchG [3] gewährleistet. Alle neuen Produktlinien entsprechen voll dem Stand der Technik.

Auf Grund der Produktvielfalt und der unterschiedlichen Produktionsveränderungen für die verschiedenen Produkte würden Angaben zur spezifischen Emission bei einzelnen Produkten den Rahmen des Kapitels sprengen. Es wird daher nur die Entwicklung der spezifischen Emissionen bezogen auf die Produktionsmenge (in t) vorgestellt:

Wie Abbildung 2.10 (nach [34]) zeigt, ist die spezifische Gesamtemission im Jahr 2000 auf 4,6 % - bezogen auf das Vergleichsjahr 1991 - gesunken. In der 2. Hälfte der 90er Jahre war NO_x die mengenmäßig bedeutendste Emission. Daher zeigt Abbildung 2.10 auch die Entwicklung der spezifischen Emission für NO_x. Die äquivalente NO_x-Emissionsveränderung durch Stromzukauf oder Stromverkauf wurde bei der Berechnung berücksichtigt. Im Vergleich zu 1990 war die spezifische NO_x-Emission im Jahr 2000 auf 15 % gesunken.

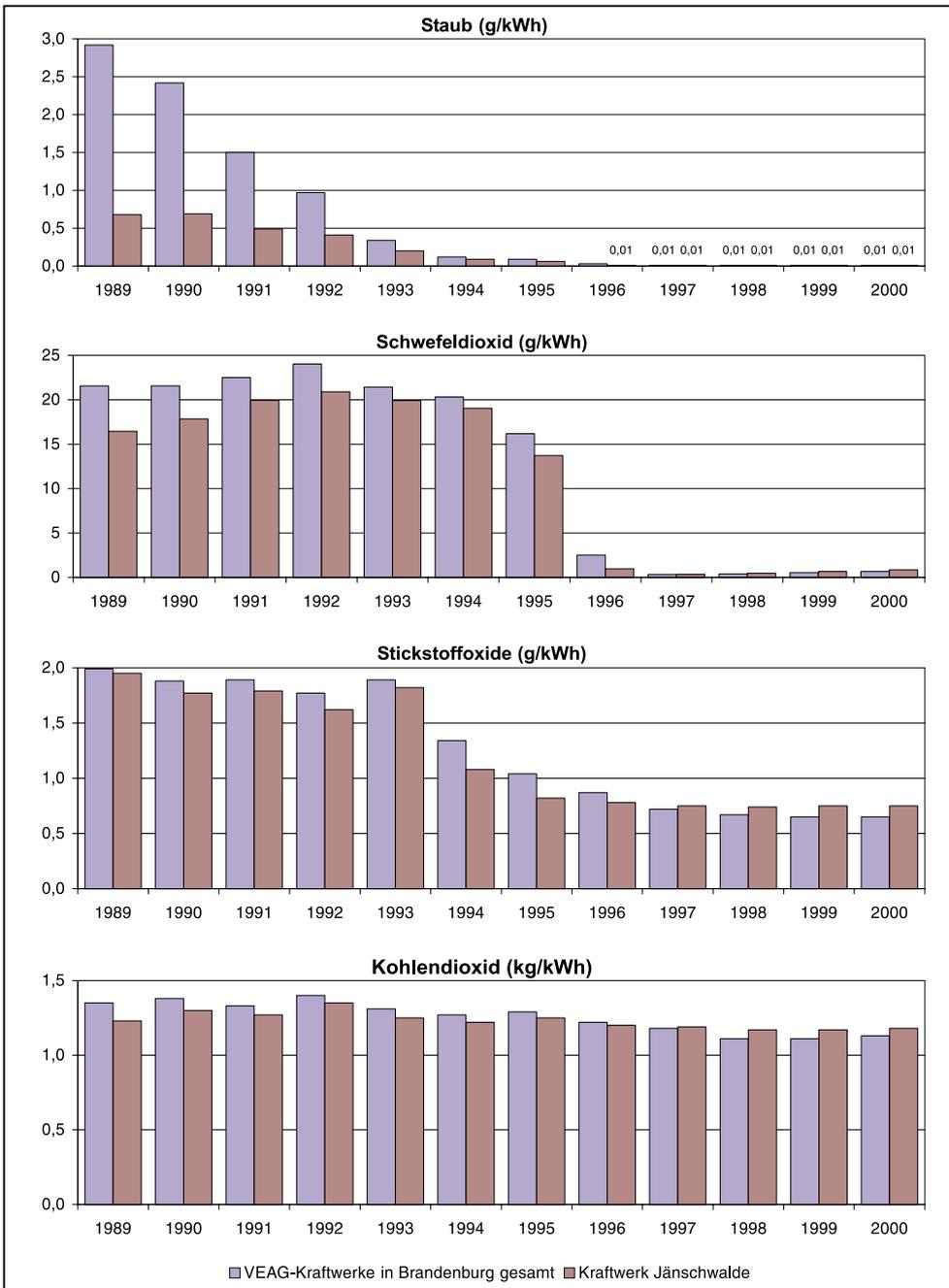


Abb. 2.9:
Spezifische Emissionen der Kraftwerke der VEAG in Brandenburg

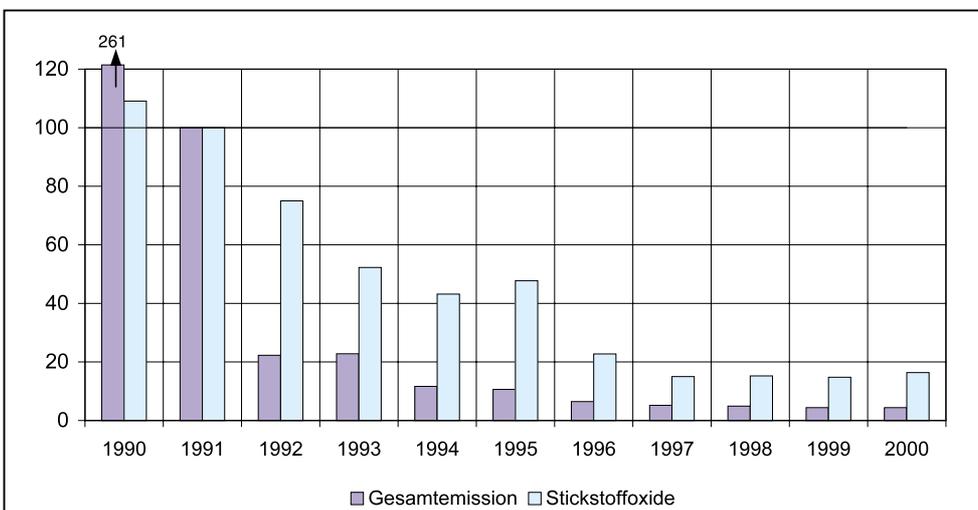
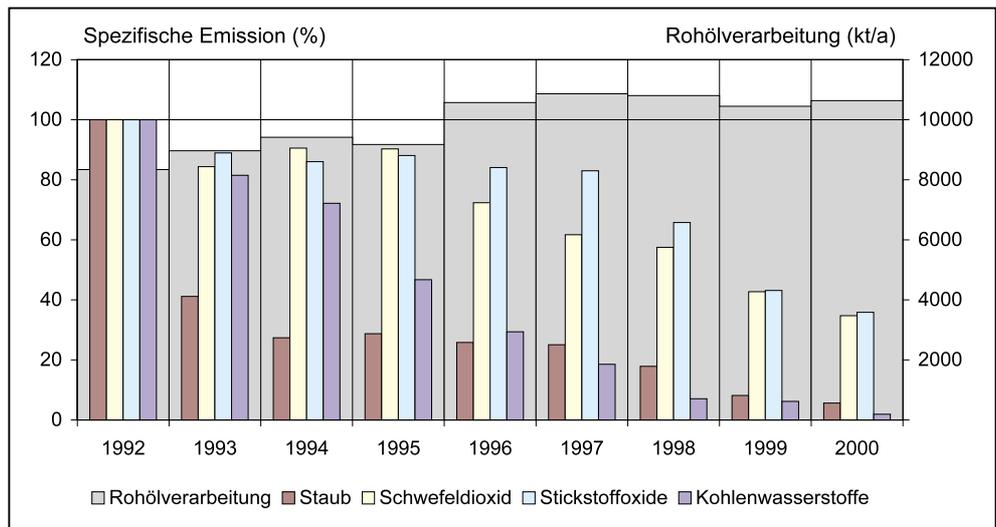


Abb. 2.10:
Relative Entwicklung der spezifischen Emissionen der BASF Schwarzheide GmbH (Emission bezogen auf Produktionsmenge, Angaben in %; Bezugsjahr 1991)

Abb. 2.11:
Relative Entwicklung der spezifischen Emissionen der PCK Raffinerie GmbH (Emission bezogen auf verarbeitete Erdölmenge; Angaben in %; Bezugsjahr 1992)



- PCK Raffinerie GmbH

Vor der Wende emittierte das Petrochemische Kombinat Schwedt/O. in Ermangelung effektiver Abgasreinigungsanlagen in beträchtlichem Umfang SO₂, Staub, Kohlenwasserstoffe und Geruchsträger. Durch Modernisierung der Anlagen konnten die Emissionen um Größenordnungen gesenkt werden. Stilllegungen wurden nur in sehr geringem Maße vorgenommen und haben bei der Senkung der Emission nur eine untergeordnete Bedeutung. Beispielsweise wurde das emissionsintensive Kraftwerk durch ein neues, den modernsten Stand repräsentierendes Kraftwerk ersetzt. Prozessöfen wurden von Schwerölföhrung auf Heizgasföhrung umgestellt. Reaktionsgase petrochemischer Anlagen werden hochwirksamen Abgasreinigung unterzogen.

Lagerung und Versand der Mineralölprodukte erfolgen jetzt emissionsarm. Es wurden drei Dämpferückgewinnungsanlagen in den Verladeanlagen errichtet, die Tanks auf hochwirksame doppelt abdichtende Schwimmdecken umgerüstet und leckagenarme bzw. -freie Pumpen und Armaturen installiert.

Die relative Entwicklung der spezifischen Emissionen zeigt Abbildung 2.11. Die aus Stromzukauf (vor 1994) oder Stromverkauf resultierenden äquivalenten Emissionsänderungen bei SO₂, NO_x und Staub wurden bei der Berechnung berücksichtigt.

Da vor 1992 die relevanten Daten nach einem anderen Modus erhoben wurden, ist deren Vergleichbarkeit nicht gegeben. Daher kann die Zeitreihe erst mit dem Jahr 1992 beginnen. Im Vergleich zu 1992 war die spezifische Emission im Jahr 2000 bei SO₂ und NO_x auf ca. 35 %, bei Staub auf 5,6 %, bei Kohlenwasserstoffen auf 1,9 % gesunken.

2.1.2.3 Eisen- und Stahlproduktion

Die metallurgische Industrie führte bis zu ihrer umfassenden Modernisierung und der Stilllegung besonders umweltschädigender Anlagen zu erheblichen Emissionen im Land Brandenburg.

In der EKO-Stahl GmbH in Eisenhüttenstadt wurde 1997 ein neuer Hochofen in Betrieb genommen, der aufgrund seiner hohen Schmelzleistung die Produktion mehrerer alter Hochöfen übernehmen konnte. Diese Maßnahme war Ausgangspunkt für eine vollständige Neugestaltung und Modernisierung der peri-

pheren Entstaubungstechnik und führte zu einer wesentlichen Verminderung des Schadstoffausstoßes im Vergleich zur ehemaligen Anlagentechnik.

Durch verfahrenstechnische Prozessoptimierungen wurden die von der Anlage erzeugten Emissionen ebenfalls erheblich minimiert. So konnten sowohl Stickstoffoxidemissionen als auch CO-Emissionen durch den Einsatz moderner keramischer Brenner-technik gemindert werden. Der Schadstoffausstoß an Schwefeldioxid ist durch die Stilllegung eines kleineren Hochofens, den Bau einer neuen Granulieranlage sowie durch Verwendung schwefelärmerer Einsatzstoffe in der Sinteranlage minimiert worden. Die Inbetriebnahme der neuen Sinteranlage im Jahr 1997 mit einer leistungsstarken Abgasreinigungsanlage verbesserte die Emissionssituation in Bezug auf Staub am Standort ebenfalls erheblich. Die aus den umfassenden Veränderungen resultierende Minderung der spezifischen Emission zeigt Abbildung 2.12 [35].

In der **Brandenburger Elektrostahlwerke GmbH** wurde eine erhebliche Staubminderung durch die Inbetriebnahme der Entstaubungsanlage der Elektro-Öfen I und II im Jahr 1995 erreicht. Die Senkung der NO_x- und CO-Emissionen wurde maßgeblich durch die Rekonstruktion des Drahtwalzwerkes und des Knüppelstoßofens beeinflusst. Aus der Rekonstruktion resultieren nach Angaben der Brandenburger Stahlwerke [36] Minderungen der spezifischen Emissionen im Vergleich zu 1993 in folgender Höhe:

	1996	1998	2000	
• Staub	bezogen auf die Menge Stranggussprodukte auf	5,1 %	5,3 %	4,6 %
• CO	bezogen auf die Menge Walzprodukte auf	69 %	60 %	57 %
• NO _x	bezogen auf die Menge Walzprodukte auf	68 %	60 %	57 %

Im Vergleich zu 1992 stieg dabei die erzeugte Menge Stranggussprodukte bis zum Jahr 2000 auf 174 % und die Produktion von Walzprodukten im Vergleich zum Jahr 1993 auf 176 %.

Eine deutliche Reduzierung des Staubaustrages der **Hennigsdorfer Stahlwerke GmbH** ab 1995 wurde durch die Inbetriebnahme der Entstaubungsanlage im Schmelzbetrieb der Elektro-

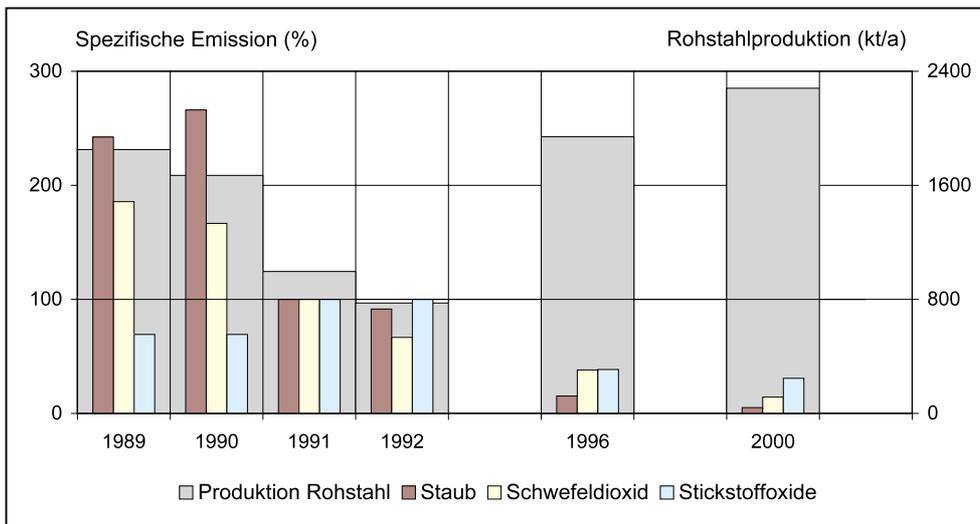


Abb. 2.12: Relative Entwicklung der spezifischen Emissionen der EKO-Stahl GmbH (Emission bezogen auf produzierte Rohstahlmenge; Angaben in %; Bezugsjahr 1991)

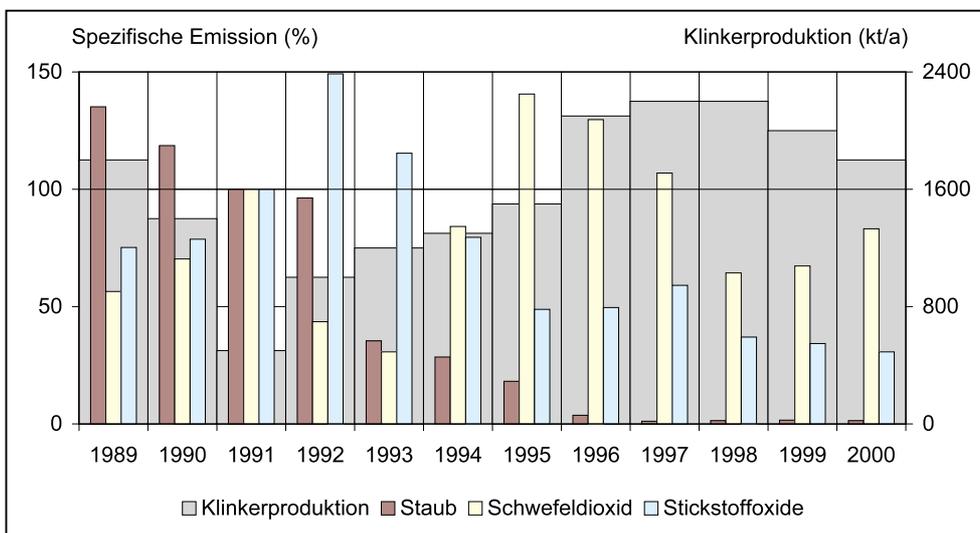


Abb. 2.13: Relative Entwicklung der spezifischen Emissionen des Zementwerkes Rüdersdorf (Emission bezogen auf produzierte Klinkermenge; Angaben in %; Bezugsjahr 1991)

Öfen V und VI erreicht. Die Inbetriebnahme der Knüppelwarmübergabe und die Rekonstruktion des Hubbalkenofens im Januar 1998 trugen zur Verringerung der NO_x- und CO-Emissionen bei. Aus den Rekonstruktionen resultierten Minderungen der spezifischen Emissionen im Vergleich zu 1993 in folgender Höhe [36]:

		1996	1998	2000
• Staub	bezogen auf die Menge Stranggussprodukte auf	1,3 %	1,1 %	0,8 %
• CO	bezogen auf die Menge Walzprodukte auf	83 %	68 %	74 %
• NO _x	bezogen auf die Menge Walzprodukte auf	87 %	71 %	79 %

Im Vergleich zu 1992 stieg dabei die erzeugte Menge Stranggussprodukte bis zum Jahr 2000 auf 220 % und die von Walzprodukten im Vergleich zu 1993 auf 138 %.

2.1.2.4 Zementproduktion

Ende 1990 gab es in Rüdersdorf drei Zementwerke mit insgesamt 11 Ofenlinien. Der Investor (Readymix AG) konzentrierte die Produktion im Zementwerk 4 und brachte schrittweise über

die Kombination von Stilllegung, Sanierung und Neubau modernste Technologien zum Einsatz.

Im Rahmen der Sanierung des Zementwerkes wurden neben dem Einsatz innovativer Technologien bei der Prozessenergieerzeugung auch periphere Transport-, Umschlags- und Lager-einrichtungen sowie Brechereinrichtungen rekonstruiert. Insbesondere der Einsatz hochwirksamer Entstaubungseinrichtungen führte zu einer nachhaltigen Minimierung von Staubemissionen. Derzeit sorgen 206 Entstaubungsanlagen verschiedener Bauart für eine wirkungsvolle Verringerung der technologisch bedingten Emissionen von Luftschadstoffen. Dabei reinigen 201 Gewebefilter verschiedenster Größe mit einer Gesamtfilterfläche von mehr als 20.000 m² Filtergewebe und 5 Elektrofilter mit 60.000 m² Niederschlagselektroden eine Gesamtluftmenge von stündlich 2 Mio. m³.

Alle bisher vollzogenen Neubau- und Rekonstruktionsmaßnahmen wurden dabei so angelegt, dass der spezifische Energieverbrauch und damit der CO₂-Ausstoß erheblich verringert werden konnte.

Die aus Modernisierungen und Stilllegungen resultierenden Minderungen der spezifischen Emissionen zeigt Abbildung 2.13.

2.2 Emissionen des Straßenverkehrs

Die Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs wird im Wesentlichen von den folgenden Einflussfaktoren bestimmt:

- Fahrleistungsentwicklung
- Zusammensetzung der Kraftfahrzeugflotte bezüglich der Motorenart sowie der technischen Einrichtungen zur Schadstoffminderung
- Kraftstoffqualität.

Die Fahrleistungsentwicklung war innerhalb der Wendejahre 1989/1990 großen Veränderungen unterworfen. Eine rasche Zunahme des Kraftfahrzeugbestandes resultierte aus dem großen Nachholbedarf in der DDR. Im Jahr 1989 waren in Brandenburg ca. 600.000 Personenkraftwagen (PKW) zugelassen, 1993 waren es schon 65 % mehr (Abb. 2.14, nach [38, 39]). Es veränderten sich aber auch die durchschnittlichen Jahresfahrleistungen der PKW, vor allem infolge größerer Wegeentfernungen (Arbeitsstätten, Einkaufszentren) und wachsenden Freizeitverkehrs von 10.000 km 1986 über 13.000 km 1990 auf etwa 16.000 km 1994 [40].

Beim Güterverkehr entwickelten sich vor allem der Verkehr mit kleineren Lieferfahrzeugen sowie der Transit- und Quell-Ziel-Verkehr von und nach Berlin sehr stark. Diese Fahrleistungsanstiege fanden überwiegend im Außerortsstraßennetz statt, wie exemplarisch an der Entwicklung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) eines Autobahnabschnittes sichtbar wird (Abb. 2.15, nach [41]).

In den Innerortsbereichen der größeren Städte entwickelte sich der Kfz-Verkehr nicht ungebremst, wie an einem Beispiel in Abbildung 2.16 gezeigt wird; es handelt sich um die Summe des DTV auf den beiden Potsdamer Havelbrücken (nach [42]). Dies liegt vor allem an dem z.T. bis an die Kapazitätsgrenze ausgelasteten Hauptstraßennetz, aber auch an den Bevölkerungsabwanderungen sowie den veränderten Zielen (z.B. großflächige Einkaufszentren am Stadtrand).

Insgesamt verdoppelte sich die Fahrleistung von 1990 bis 2000 im Land Brandenburg (Abb. 2.17).

Abb. 2.14:
Entwicklung des PKW-Bestandes im Land Brandenburg

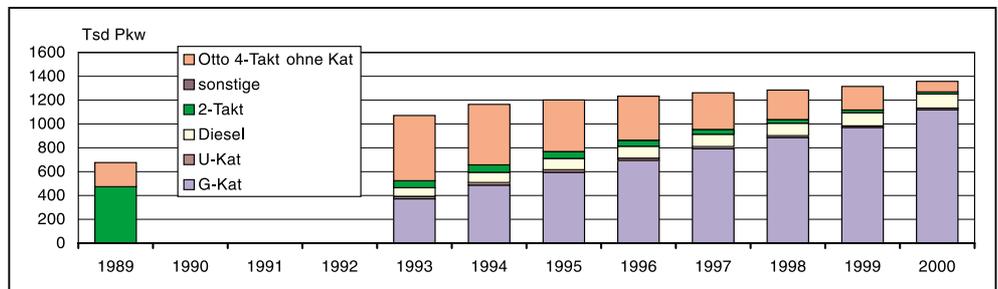


Abb. 2.15:
DTV-Entwicklung an der Bundesautobahn A10 bei Lehnin

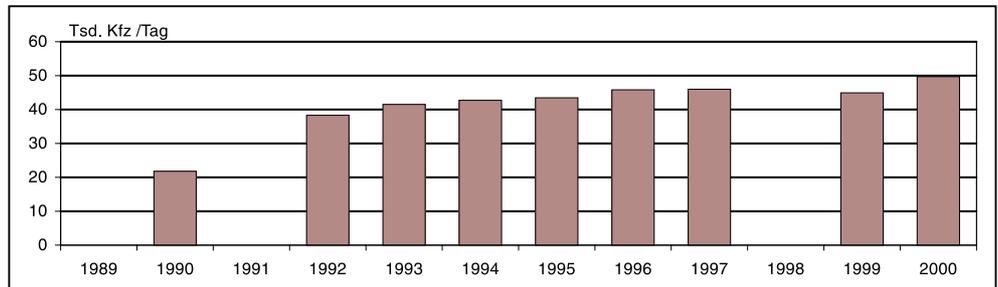


Abb. 2.16:
Verkehrs-Entwicklung auf den Potsdamer Havelbrücken (1989=100 %)

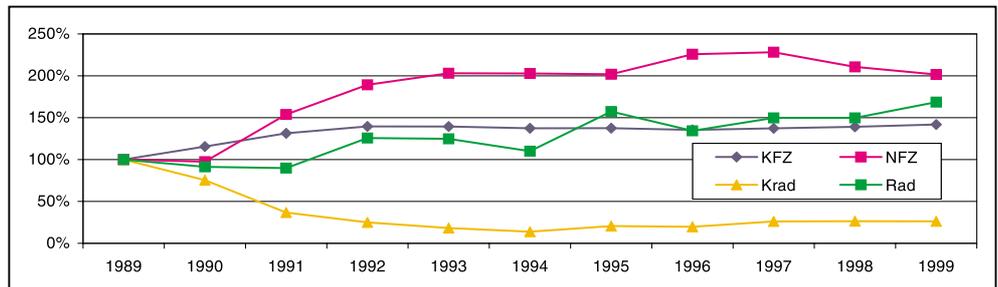
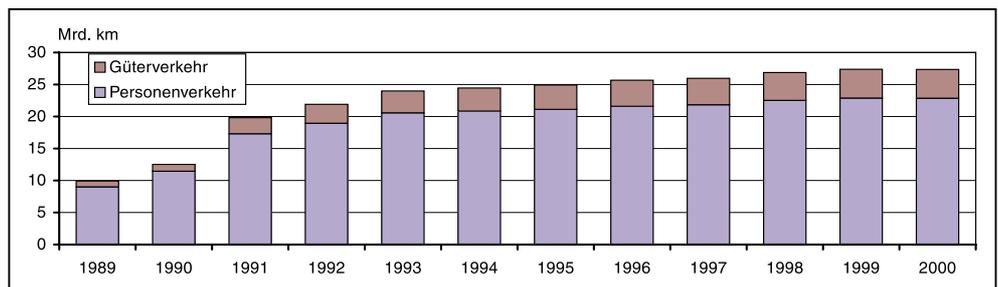


Abb. 2.17:
Entwicklung der Jahresfahrleistung im Land Brandenburg



Der Anteil von Diesel-PKW bzw. PKW mit geregelter 3-Wege-Katalysator (gKat-PKW) am PKW-Bestand vergrößerte sich stetig. Der 2-Takt-Anteil, der 1989 bei 70 % lag, ist bis zum Jahr 2000 auf 1 % zurückgegangen.

Die Kraftstoffqualität hat Einfluss auf die Kfz-Emissionen. Sie unterlag – auch durch Rechtsvorschriften initiiert – im Berichtszeitraum einigen Veränderungen. So ist der Schwefelanteil bei den

Otto- und Dieselmotoren sowie der Benzol- bzw. Aromatenanteil der Ottokraftstoffe reduziert worden [45c]. Blei ist im Ottokraftstoff im Jahr 2000 so gut wie nicht mehr enthalten (Tab. 2.1). Die Raffinerie Schwedt/O. versorgt den überwiegenden Anteil des Tankstellennetzes im Land Brandenburg. Deshalb sind die Kraftstoffqualitäten dieser Raffinerie typisch für das Land. Im Grenzbereich zu Polen werden jedoch auch im größeren Umfang importierte Kraftstoffe anderer Qualität genutzt.

Otto-Kraftstoff Normal										
Jahr		88 1)	89 2)	89 3)	94 4)	96	97	98	99	00
Bleigehalt	mg/l	140	126	333		1,0				
Aromaten	% (v)	29		15 - 27	32				26,2	26,8
Benzol	% (v)	2,3		0,8 - 3	1	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8
Schwefel	mg/kg	304	500			240	278	302	238	56
Otto-Kraftstoff Super unverbleit										
Jahr		88 1)	89 2)	89 3)	94 4)	96	97	98	99	00
Bleigehalt	mg/l					1				
Aromaten	% (v)	44			35				31	30
Benzol	% (v)	3,8			0,9	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6
Schwefel	mg/kg	21				198	184	209	185	45
Diesel-Kraftstoff										
Jahr		88 1)	89 2)	89 3)	94 4)	96	97	98	99	00
Schwefel	mg/kg		6.000			248	242	300	314	260
Mono-Aromaten	% (w)									26
Di-Aromaten	% (w)									3,9
Tri + höhere Aromaten	% (w)									0,8

Tab. 2.1: Entwicklung emissionsrelevanter Bestandteile von Kraftstoffen

- (v) volumenbezogen
- (w) gewichtsbezogen
- 88 ¹⁾ Mittlere Werte westdeutscher Kraftstoffe [43]
- 89 ²⁾ Annahmen aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren für die DDR [44]
- 89 ³⁾ Analyse Ostberliner Kraftstoffe aus [45]
- 94 ⁴⁾ Kraftstoffanalyse an Brandenburger Tankstellen aus [45a]
- 96-2000 Daten der Raffinerie Schwedt/O. [45b]

Die Entwicklung der Gesamt-Emission von Kohlenwasserstoffen und speziell des kanzerogenen Benzols zeigt Abbildung 2.18. In den Jahren 1989/1991 wurden Kohlenwasserstoffe - bezogen auf die Fahrleistung – noch in stark überhöhtem Umfang durch 2-Takt-Fahrzeuge und 4-Takt-Fahrzeuge ohne Katalysator ausgestoßen. In den darauf folgenden Jahren kamen die Emissionen der neu oder gebraucht erworbenen Kfz hinzu. Erst ab dem Jahr 1992 wurden die Emissionen geringer als Folge der Aussonderung von DDR-PKW. Durch den wachsenden technischen Fortschritt der Abgasminderungskonzepte für neue Kfz, bedingt durch verschärfte Abgasnormen, wurden die Emissionen stetig geringer. Dieser Trend wurde durch die moderate Fahrleistungssteigerung von 1993 bis 2000 teilweise kompensiert. In den Innenstädten war die Reduzierung nicht so gravierend, weil der Katalysator zu Fahrtbeginn seinen Betriebszustand noch nicht erreicht hat, was zu erhöhten Emissionen führt. Derzeit trägt der Kaltstartanteil die Hälfte zu den Kohlenwasserstoff- und Benzolemissionen in den Innenstädten bei.

Die Emissionen von Stickstoffoxiden werden vom Personen- und vom Wirtschaftsverkehr gleichermaßen verursacht. Hier werden beträchtliche Anteile von den Kfz mit Diesel-Motor emittiert, da sich Schadstoffminderungssysteme bisher nur bedingt durchsetzen. Zudem stiegen die Anteile der Diesel-PKW von 0 % im Jahre 1989 auf 10 % gegen Ende des Berichtszeitraumes im Bestand an und wiesen eine wesentlich höhere Jahresfahrleistung als Otto-PKW auf. Weiterhin stiegen im Wirtschafts-

verkehr die Fahrleistungen, vor allem auch der Lieferfahrzeuge, stark an. Aus diesen Gründen erfolgte trotz des erheblich gewachsenen gKat-Anteils nur eine geringfügige Abnahme der NO_x-Emissionen ab 1995.

Die Partikelemission nach Abbildung 2.20 umfasst nur die Verbrennungsemission der Diesel-Kfz (Ruß). Die Freisetzung von Partikeln aus dem Verbrennungsvorgang ist bei Dieselmotoren von besonderem Interesse, da Ruß als krebserregend gilt. Die Partikelemissionen sind überwiegend den Fahrzeugen des Wirtschaftsverkehrs anzulasten. Aus den gleichen Gründen wie beim NO_x stiegen die Emissionen bis zum Jahr 1995 an. Sie reduzierten sich ab diesem Zeitpunkt jedoch schneller als die NO_x-Emissionen. Ausschlaggebend für diese Entwicklung sind vor allem die Folgen der Einführung der Abgasnorm Euro 2-Stufe ab 1995/1996. Diese fordert eine Reduzierung der Partikelemissionen um 60 % für Neufahrzeuge.

Staub-Emissionen infolge von Abriebprozessen (Straßen-, Reifen-, Bremsabrieb) sowie Sekundärstaubaufwirbelungen mit einer Korngröße unter 10 µm umfassen in brandenburgischen Innenstadtstraßen derzeit das Doppelte der Staub-Emission aus dem Motor. Hier ist im Unterschied zu den Motoremissionen zukünftig keine wesentliche Reduzierung zu erwarten.

Blei-Emissionen (Abb. 2.21) spielen seit dem Verbot von verbleitem Benzin (1997) keine Rolle mehr.

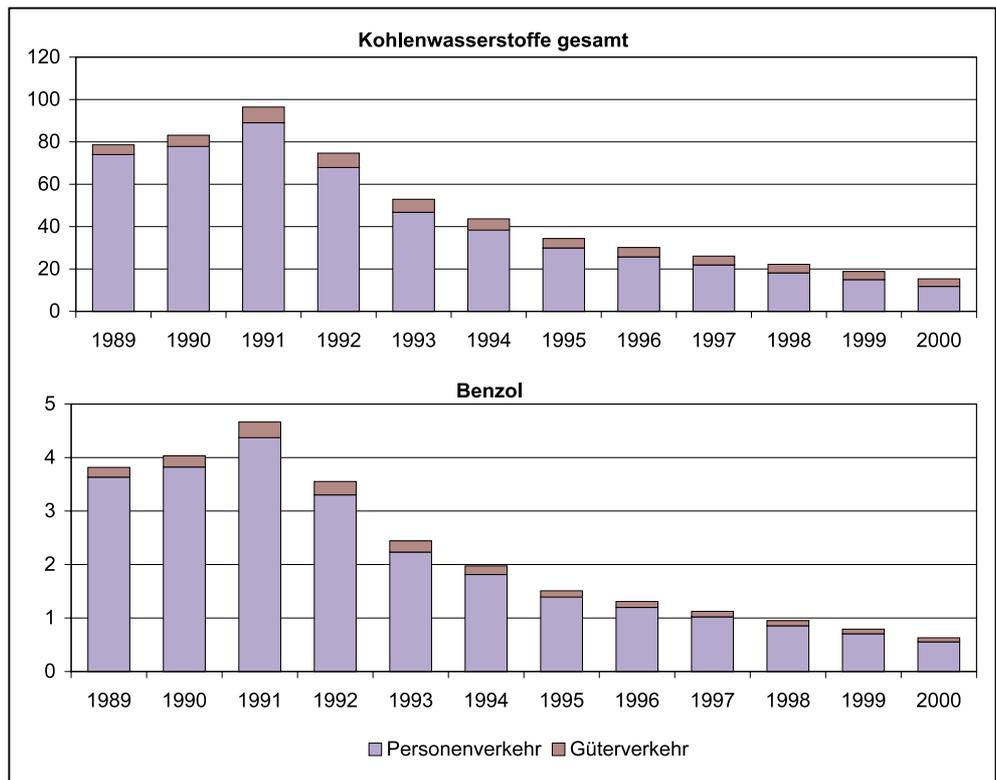


Abb. 2.18:
Entwicklung der Emission von Kohlenwasserstoffen aus Kraftfahrzeugen im Land Brandenburg (Angaben in kt)

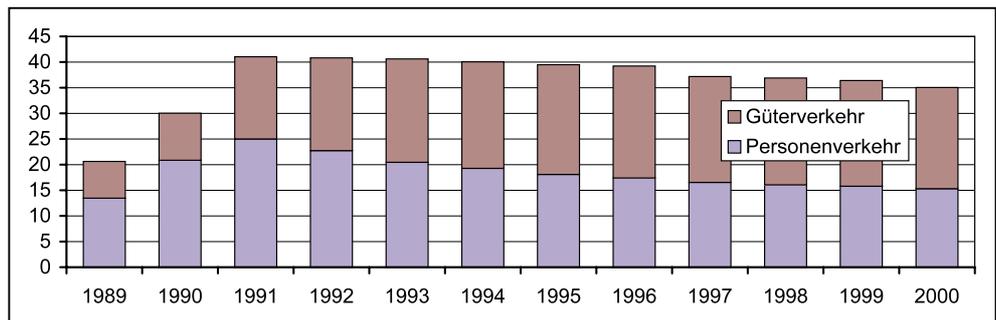


Abb. 2.19
Entwicklung der Emission von Stickstoffoxiden aus Kraftfahrzeugen im Land Brandenburg (Angaben in kt)

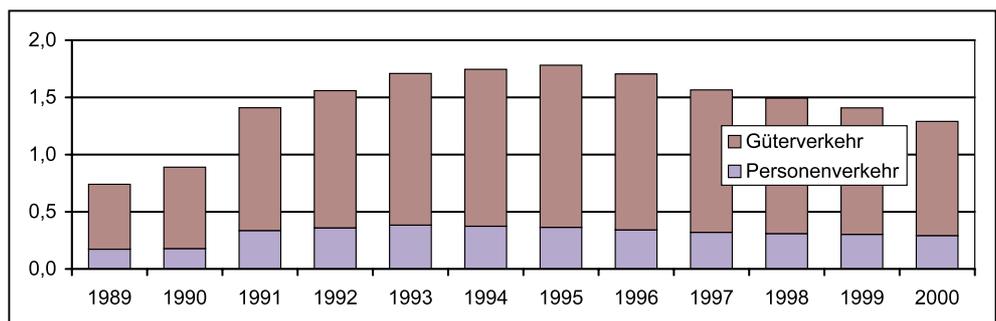


Abb. 2.20:
Entwicklung der Emission von Partikeln aus Kraftfahrzeugen im Land Brandenburg

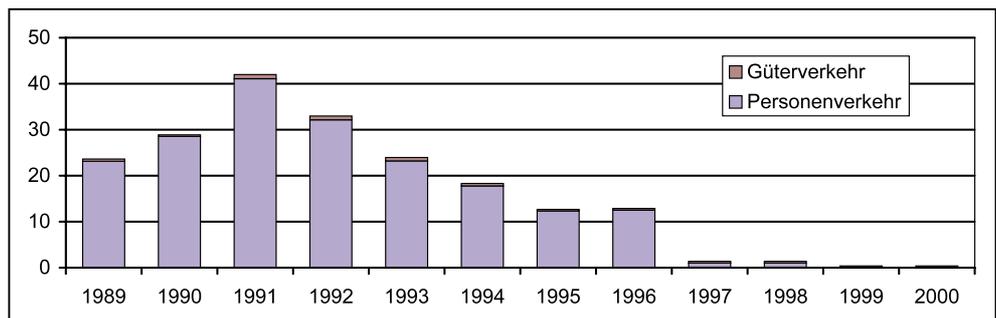


Abb. 2.21:
Entwicklung der Emission von Blei aus Kraftfahrzeugen im Land Brandenburg

2.3 Emissionen klimarelevanter Gase

Die Bundesregierung hat mit ihrem Beschluss auf der Grundlage des ersten Berichtes der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“ im November 1990 [46] erstmals als klimapolitische Zielstellung die Reduzierung der CO₂-Emission in der Bundesrepublik Deutschland um 25–30 % bis zum Jahr 2005 gegenüber 1987 formuliert. Diese Zielstellung wurde anlässlich der 1. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention im Frühjahr 1995 in Berlin aktualisiert. Die Bundesregierung verpflichtete sich, die CO₂-Emissionen in Deutschland um 25 % bis 2005 gegenüber 1990 zu senken [47]. Der Schwerpunkt der Minderungsmaßnahmen betrifft die energiebedingten CO₂-Emissionen, die bundesweit rund 97 % der gesamten CO₂-Emissionen ausmachen.

In dem Beschluss der Bundesregierung vom September 1994 zur Verminderung der CO₂-Emissionen und anderer Treibhausgasemissionen in der Bundesrepublik auf der Basis des dritten Berichtes der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“ [48] wurden aufgrund ihrer nicht unerheblichen Klimarelevanz die Treibhausgase Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (CF₄, C₂F₆), Schwefelhexafluorid (SF₆), Kohlenmonoxid (CO), die Ozonvorläufer-substanzen Stickstoffoxide (NO_x) und nicht methanhaltige flüchtige organische Verbindungen (NMVOC) sowie die Lachgasvorläufer-substanz Ammoniak (NH₃) in die Minderungszielstellungen einbezogen.

Im Juni 1992 hat sich die Landesregierung in ihren „Leitentscheidungen zur brandenburgischen Energiepolitik“ [49] dazu bekannt, die von der Bundesregierung vorgegebene Zielstellung zur CO₂-Minderung auf Landesebene deutlich zu überbieten. Daran hielt die Landesregierung auch nach der Aktualisierung der Verpflichtung der Bundesregierung auf der 1. Vertragsstaatenkonferenz zur Klimarahmenkonvention fest. Wichtigstes handlungsleitendes Instrument für die umweltorientierte Energiepolitik des Landes ist das seit 1996 bestehende Energiekonzept [50], das gegenwärtig fortgeschrieben wird.

Der in der ersten Hälfte der 90er Jahre im Land einsetzende wirtschaftliche Strukturwandel bewirkte neben dem Zusammenbrechen ehemals bedeutender energieintensiver Wirtschaftszweige den Aufbau mittelständischer Unternehmen in den Bereichen Konsumgütergewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie Baugewerbe, die einen bedeutend geringeren Energiebedarf aufweisen. Dies hatte erhebliche Auswirkungen auf die Energiewirtschaft des Landes. So gingen bereits bis zum Jahr 1996 gegenüber 1990 die Bruttostromerzeugung um 35 % (15,0 TWh) und die Stromausfuhr um 50 % (10,3 TWh) zurück. Allein durch den Rückgang der Stromerzeugung verringerte sich der Kraftwerkseinsatz von Rohbraunkohle in dieser Zeit um rund 26,8 Mio. t (49 %). Parallel dazu nahm der Rohbraunkohlebedarf der Brikettfabriken und der übrigen Verbraucher drastisch ab.

Im Bereich der Endenergieverbraucher veränderte sich der Energiemix stark zu Gunsten von Erdgas und Heizöl. Der Bedarf von Braunkohlenbrikett in Brandenburg sank dabei von rund 5 Mio. t auf 0,3 Mio. t. Im Zeitraum 1990 bis 1998 verringerte sich der Primärenergieverbrauch um 34 % von 873 PJ [29] auf 578 PJ [26]. Unmittelbar damit zusammenhängend nahmen die energiebedingten Treibhausgase ab. Im Jahr 1998 stiegen Primärenergieverbrauch und energiebedingte CO₂-Emissionen

vor allem durch erhöhte Stromlieferungen in andere Bundesländer wieder an, lagen jedoch noch um 28 bzw. 33 % unter den Ausgangswerten von 1990.

Wesentliche Ursache für den starken Rückgang des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen waren neben den bereits genannten Entwicklungen tiefgreifende strukturelle und technisch-technologische Veränderungen in der Wirtschaft mit deutlich höherer Energieeffizienz. Hierzu zählen insbesondere

- die Wirkung der Förderprogramme des Landes, insbesondere zur Neuerrichtung moderner Heizungsanlagen auf Gas- und Ölbasis, zur Modernisierung der Nah- und Fernwärmeversorgung, zur Verbesserung des Wärmeschutzes an Wohngebäuden sowie zur forcierten Nutzung erneuerbarer Energien
- und
- der sparsamere Umgang mit Energieträgern.

Durch verschiedene Förderprogramme unterstützt das Land Brandenburg u.a. die Minderung energiebedingter Umweltbelastungen. Es wird eingeschätzt, dass im Jahr 1999 etwa 1 Mio. t CO₂ [51] allein durch die seit 1991 geförderte Nutzung erneuerbarer Energien vermieden wurden. Mit dem weiteren Ausbau insbesondere der Windkraft- und Biomassenutzung werden die Vermeidungseffekte verstärkt. Die landesweite Emissionsermittlung umfasst die direkt emittierten Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Treibhausgas-Vorläufer (indirekte Treibhausgase) NO_x, CO und NMVOC. Entsprechend den Beschlüssen zu Artikel 4 der Klimarahmenkonvention sind ausschließlich anthropogene Emissionen bewertet. Bei CO₂ werden nur solche Emissionen erfasst, die bei der resultierenden Bilanz zwischen Emissionen und Speicherung in der Biomasse ins Gewicht fallen, das heißt, die Verbrennung von Biomasse sowie der biologische Abbau organischer Abfälle bleiben unberücksichtigt.

Aufgrund der erheblichen Unterschiede in der Größe der Treibhausgas-Potenziale ist eine Differenzierung der Bewertungsbasis zwischen CO₂ und den anderen Treibhausgasen notwendig. Während die Aussagen zu CO₂ auf gesicherten Emissionsdaten basieren, bestehen bei den Abschätzungen von CH₄ und N₂O noch Unsicherheiten. Grundsätzlich gilt, dass verbrennungsbedingte Emissionen bedeutend zuverlässiger angegeben werden können als Emissionen aus sonstigen Vorgängen mit teilweise komplexen Entstehungsprozessen.

Kohlendioxid

Abbildung 2.22 zeigt, dass die CO₂-Emissionen den Hauptanteil der Treibhausgasemissionen liefern. Die bis 1990 fast ausschließlich auf Braunkohle basierende Energieversorgung des Landes und die niedrigen Brennstoffausnutzungsgrade der Kraftwerke bedingten eine überdurchschnittliche Emission an Treibhausgasen, insbesondere CO₂. Im Jahr 1998 betragen die CO₂-Emissionen aus der Strom- und Wärmeerzeugung ca. 68 % der energiebedingten Gesamtemissionen. Etwa ein Drittel der Gesamtemissionen des Landes entfiel auf die Produktion ausgeführter Energieträger (Strom, Wärme, Kohle- und Mineralölprodukte). 1994 betrug in der Bundesrepublik die CO₂-Emission im Mittel 11,0 t/Einwohner [52], im Land Brandenburg 23,6 t/Einwohner.

Abb. 2.22.:
Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Land Brandenburg (Mio t CO₂-Äquivalent)

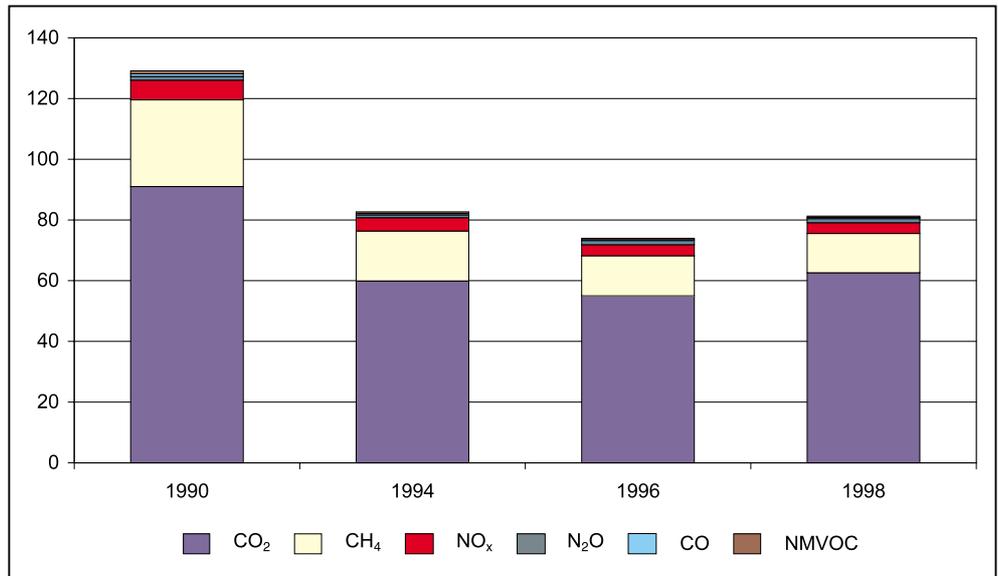


Abb. 2.23:
CO₂-Emissionsentwicklung im Land Brandenburg (Mio t/a)

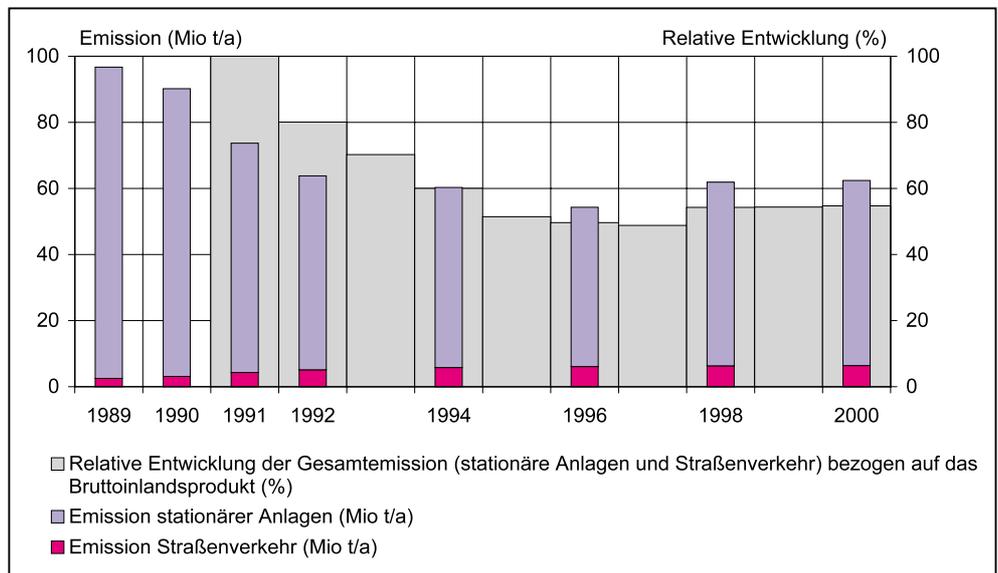


Abbildung 2.23 zeigt die Entwicklung der CO₂-Gesamtemission aus stationären Anlagen und Straßenverkehr im Land Brandenburg. Die wachsenden Fahrleistungen bedingen, dass der Anteil des Verkehrs an der Gesamtemission gestiegen ist. Nach 1996 setzte durch den Zubau und die unerwartet hohe Auslastung in den Braunkohle-Kraftwerken ein Anstieg der CO₂-Emission ein. Mit Beginn der 90er Jahre begann die spezifische CO₂-Gesamtemission bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt deutlich zu sinken: auf Preisbasis 1995 betrug 1991 die spezifische CO₂-Emission 1,47 kg CO₂/DM, 1996 dagegen nur noch 0,73 kg CO₂/DM.

CO₂ ist aufgrund seiner langen atmosphärischen Lebensdauer (50-200 Jahre [53]) annähernd gleichmäßig über die globale Atmosphäre verteilt. Auch in Gebieten mit hohen CO₂-Emissionen werden nur geringfügig höhere CO₂-Immissionen festgestellt. Auch folgt die CO₂-Hintergrundkonzentration nicht streng proportional der Emissionsentwicklung, da beispielsweise die CO₂-Aufnahme durch die Ozeane erheblich variieren kann [53]. An der Messstelle des UBA in Neuglobsow stieg die CO₂-Immission von 684 mg/m³ im Jahr 1994 auf 702 mg/m³ im Jahr 1999. Bundesweit wurden 1999 im Messnetz des UBA Jahresmittel-Konzentrationen zwischen 674 und 702 mg/m³ ermittelt [54].

Methan

Wichtigstes anthropogenes Treibhausgas neben CO₂ ist Methan (CH₄). Im energetischen Bereich entstehen Emissionen vor allem beim Abbau und der Verbrennung von Braunkohle sowie aus Leckagen im Erdgas-Verteilungsnetz. Mit Rückgang der Nutzung von Braunkohle und der Sanierung des Gasleitungsnetzes sanken auch die Methanemissionen. Der größere Emissionsanteil entsteht im nichtenergetischen Bereich, vor allem aus Siedlungsabfällen, die ab 2005 nur noch die Ablagerung von mineralisierten und inerten Abfällen erlaubt, werden die aus der Zersetzung organischer Abfälle auf Deponien entstehenden Emissionen zukünftig deutlich zurückgehen. Zweitgrößter Methanemittent ist die Landwirtschaft. Sowohl die Wiederkäuerhaltung als auch der mikrobiologische Abbau tierischer Exkremente verursachen hohe Methanemissionen. Auch hier ist eine rückläufige Tendenz zu beobachten, da die Tierbestände vor allem Anfangs der 90er Jahre drastisch sanken. Mit der voranschreitenden Verwertung der Exkremente in Biogasanlagen ist auch ein weiteres Absinken der Methanemissionen zu erwarten. Auch natürliche Emissionen liefern einen geringen Beitrag (siehe Abschnitt 2.5). Seit Mitte der 90er Jahre lag die Methan-Gesamtemission des Landes Brandenburg

bei etwa 0,4 bis 0,5 Mio. t/a. Die Lebensdauer des Methan beträgt 9 Jahre [53]. In Schwedt/O. wurde im Jahr 2000 eine Methan-Immission (I1) von 1,2 mg/m³, 1995 eine solche von 1,3 mg/m³ gemessen.

Weitere Treibhausgase

Auch Lachgas (N₂O) und troposphärisches Ozon (O₃) haben Anteil am Treibhauseffekt. Die verstärkte Bildung troposphärischen Ozons wird vor allem durch die Emissionen von NMVOC und NO_x hervorgerufen. Feuerungsanlagen emittieren neben CH₄ auch CO und NMVOC durch unvollständige Verbrennung fossiler Brennstoffe. Mit der Stilllegung alter Anlagen und dem

Einsatz moderner Feuerungsanlagen sowie durch Optimierung der Verbrennungsbedingungen in bestehenden Anlagen wurden diese Emissionen im Zeitraum 1990/1996 fast halbiert.

Neben den stationären Feuerungsanlagen ist der Straßenverkehr ein wichtiger Emittent von Treibhausgasen. Der Einsatz von Abgaskatalysatoren erbringt bei vielen Luftschadstoffen erhebliche Emissionsminderungen. Details dieser Entwicklung sind Abschnitt 2.2 zu entnehmen. Allerdings bedingt der Katalysatorbetrieb stärkere N₂O-Emissionen. Rückläufig sind die N₂O-Emissionen der Landwirtschaft durch Optimierung des Einsatzes von Stickstoff-Düngern.

2.4 Anthropogene Gesamtemission

Als anthropogene Gesamtemission wird nachfolgend die Summe der Emissionen aus stationären Anlagen, Verkehr, Konsumgüterverwendung in Haushalten (z.B. Lösungsmittel) und biologisch bedingten Emissionen aus Deponien, Kläranlagen, Kompostierungen u.a. bezeichnet.

Da die Schwefeldioxid-Emission des Straßenverkehrs vor 1995 nur bei 2 kt/a und ab 1996 bei etwa 1 kt/a lag, kann im Rahmen der Darstellungsgenauigkeit die SO₂-Emission stationärer Anlagen (Abb. 2.1) auch als anthropogene Gesamtemission gelten.

Die gesamte anthropogene **Staubemission** ist nicht zu ermitteln. So sind beispielsweise Umschlagsprozesse, Abwehungen von devastierten Flächen und Ackerflächen oder Emissionen aus dem Haushaltsbereich nicht belastbar darzustellen. Selbst für den Straßenverkehr können nur die abgasbedingten Partikelemissionen quantifiziert werden (1989: 0,7 kt/a, 1992: 1,6 kt/a, 1996: 1,7 kt/a, 2000: 1,4 kt/a).

Die gesamten **Stickstoffoxide**-Emissionen rekrutierten sich im Wesentlichen aus den Emissionen stationärer Anlagen und des Verkehrs (Abb. 2.24). Der Anteil des Straßenverkehrs an der anthropogenen Gesamtemission stieg tendenziell von 12 % (1989) über 32 % (1992) auf 43 % (2000).

Die Emission **nicht methanhaltiger flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC)** kann nur in der Größenordnung erfasst werden.

Die Vielzahl einzelner Verbindungen, die Vielzahl potenzieller Quellen und die Dynamik des Emissionsgeschehens als Folge sich ändernder Prozessparameter oder meteorologischer Randbedingungen erlaubten bei vielen Quellgruppen nur eine grobe Abschätzung des Emissionsgeschehens. Auf der Basis der Daten aus dem Emissionskataster des Landesumweltamtes und bereits veröffentlichter Abschätzungen [10, 16, 56, 57] ist in Abbildung 2.24 die Größenordnung der Gesamt-NMVOC-Emission im Land Brandenburg dargestellt. Der Anteil des Straßenverkehrs der anthropogenen Gesamtemission betrug 1992 ca. 70 % und im Jahr 2000 ca. 50 %.

Stellt man für Brandenburg die biologisch bedingten NMVOC-Emissionen aus Abfall-, Wasser-, Landwirtschaft (einschließlich der biogenen NMVOC-Emissionen nach Abschnitt 2.5) der Gesamtheit aus allen anderen anthropogenen und biogenen Emissionen gegenüber, so lag 1996 der Anteil biogener Genese bei 34 %; er war infolge des hohen Waldbestandes höher als der Bundesdurchschnitt [58].

Die anthropogene **Kohlenmonoxid**-Gesamtemission entwickelte sich wie folgt (Angaben in kt/a):

	1989	1992	1996	2000
Stationäre Anlagen	668	382	191	126
Straßenverkehr	195	179	105	77
Gesamt:	863	561	296	203

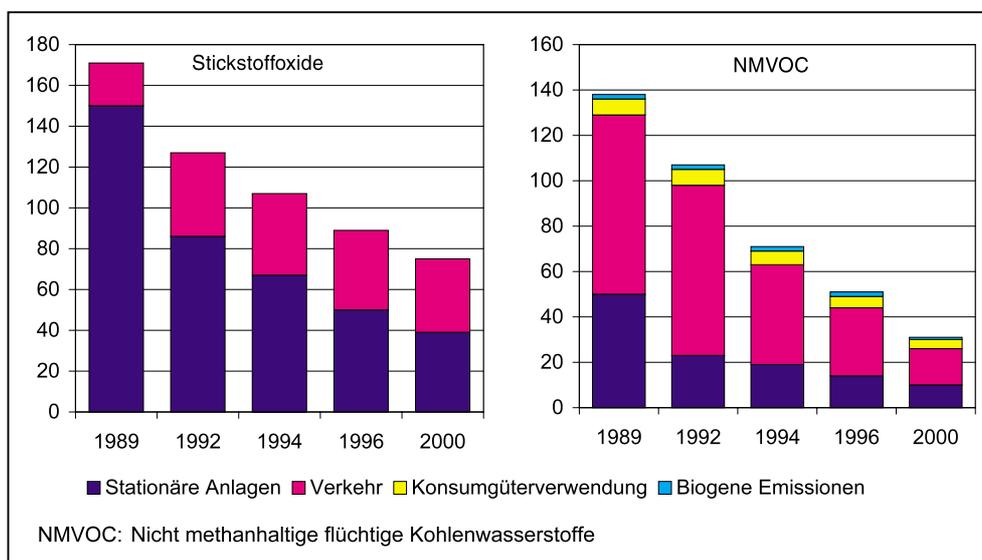


Abb. 2.24: Anthropogene Gesamtemission im Land Brandenburg (Angaben in kt/a)

Hinzuweisen ist auf die anthropogenen Emissionen biologischer Prozesse, die im Abschnitt 2.1 nicht berücksichtigt sind. Maßgebliche Quellen dieser Kategorie sind im Land Brandenburg

- Deponien und Abtablagerungen (ca. 200 kt CH₄ im Jahr 1995) [16]
- Abwasseranlagen (ca. 16-40 kt CH₄/a, ca. 0,7-4,0 kt NH₃ im Jahr 1994) [56]

2.5 Biogene Emissionen

Eine eindeutige Trennung zwischen natürlichen Emissionen und anthropogen bedingten biologischen Emissionen – insbesondere biotischer Genese – ist nicht möglich.

In Anlehnung an Konventionen nach [59, 60] werden nachfolgend Wälder, natürliche Grasflächen, Oberflächengewässer, Waldtiere, Waldbrände, Blitze sowie nasse und überstaute Niedermoore als natürliche Quellen kategorisiert, obgleich auch hier vielfach eine anthropogene Beeinflussung nicht auszuschließen ist. Insofern ist eine eindeutige Trennung zwischen rein biogenen Emissionen und vom Menschen indirekt bewirkten biogenen Emissionen nicht möglich.

Da die Basisdaten, insbesondere die spezifischen Emissionsdaten [56, 59, 62], große Streubereiche aufweisen, können auf dieser Basis die nachfolgend errechneten natürlichen Emissionen nur deren Größenordnung vermitteln; sie gelten in dieser Validität aber für den gesamten Untersuchungszeitraum. Es ergaben sich folgende natürliche Gesamtemissionen:

- CH₄ 20–30 kt/a [56],
- NMVOC ca. 24 kt/a [56],
- N₂O 0,5–2 kt/a [56].

Es ist davon auszugehen, dass natürliche Staubquellen (Bodenerosion, Pollen, Waldbrände) auch beachtliche Beiträge zur Gesamtstaubemission liefern. Es fehlt jedoch das methodische

2.6 Zusammenfassende Einschätzung der Emissionsentwicklung

Die anthropogenen Gesamtemissionen im Land Brandenburg sind im Berichtszeitraum meist erheblich gesunken. Im Vergleich zu 1989 sanken die Emissionen im Land Brandenburg im Jahr 2000 bei SO₂ auf 4,6 % (13 %), bei Staub (ohne Schüttgutumschlag) auf 1,4 % (7 %), bei NO_x auf 44 % (47 %) und bei CO₂ auf 67 % (82 %). Jeweils in Klammern sind vorstehend die Minderungen in Deutschland (gesamt) für den Zeitraum 1989 bis 1999 (nach [75 (2000)], [76 (1994)]) angegeben. Während 1989 die jährliche SO₂-Emission je Einwohner im Land Brandenburg 0,5 t und in Deutschland 0,08 t betrug, waren es im Jahr 2000 im Land Brandenburg noch 0,03 t und 1999 in Deutschland 0,01 t. Bezogen auf die Fläche lag im Jahr 2000 im Land Brandenburg die spezifische SO₂-Emission bei 2,5 t/km², in Deutschland (gesamt) im Jahr 1999 bei 2,3 t/km².

Der Prozess der Emissionsminderung bei stationären Anlagen war im Land Brandenburg im Zeitraum um 1996 weitgehend abgeschlossen. Die Emissionsminderungen resultierten teilweise aus der Stilllegung von Anlagen und dem Einsatz emissionsärmerer Energieträger und in etwa vergleichbarer Höhe aus der Modernisierung und dem Neubau von Anlagen.

- Landwirtschaft (Tierhaltung: ca. 38-85 kt CH₄, ca. 13-34 kt NH₃, ca. 1,0-1,7 kt N₂O im Jahr 1994; Böden: ca. 5 kt CH₄/a, ca. 2-5 kt NH₃/a, ca. 1,4-8 kt N₂O/a) [56].

In Summe resultieren aus den vorstehenden Quellen Emissionen in der Größenordnung von 260-330 kt CH₄/a, 16-43 kt NH₃/a und 2,4-8,7 kt N₂O/a im Zeitraum um 1995.

Instrumentarium, um diese Emissionen auch nur annähernd quantifizieren zu können. Angaben zur Verfrachtung von Bodenmaterial trockener vegetationsarmer Flächen, die sich im Bereich von 0,3 bis 130 g/(m²·a) bewegen [63], sind beispielsweise nicht geeignet, die daraus resultierende landesweite Emission abzuschätzen.

Natürliche Quellen sind auch CO₂-Quellen; da im natürlichen Kohlenstoff-Kreislauf auch CO₂ gebunden wird, sind belastbare CO₂-Inventaruntersuchungen hier nicht möglich.

Für NMVOC stellen Wälder mit Abstand die biogene Hauptquelle dar [57]. Diese NMVOC umfassen vor allem Monoterpene, Isopren, Alkane, Alkene, Alkohole, Aldehyde und organische Säuren [16, 64]. Mittels Modellrechnung wurden für Brandenburg im Vergleich aller Bundesländer relativ hohe hochsommerliche vegetationsbedingte NMVOC-Emissionen (bis über 60 kg/(km²·d)) ermittelt. Dies ist auf den großen Nadelwaldbestand und die relativ hohen Sommertemperaturen in Brandenburg zurückzuführen [65]. Diese Situation ist insbesondere für die Ozonbildung in der bodennahen Troposphäre von Interesse. Das in seiner Höhe nicht beeinflussbare biogene NMVOC-Dargebot ist gerade zu dem Zeitpunkt deutlich überproportional hoch, an dem auch die meteorologischen Gegebenheiten für die Ozonbildung besonders förderlich sind – bei hohen Temperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung.

Mittelfristig sind bei stationären Anlagen im Land Brandenburg im Allgemeinen keine größeren Änderungen der Emissionen zu erwarten. Allerdings wird die Umsetzung der EU-VOC-Richtlinie [65 a] in den nächsten Jahren in einigen Bereichen zu Emissionsminderungen führen. Die im Jahr 2001 verabschiedete Lösemittel-Verordnung (31. BImSchV) [65b] zielt bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen auf die Einhaltung der Grenzwerte, vorrangig durch den Einsatz lösungsmittelarmer oder -freier Einsatzstoffe, bis 2007 an bestehenden Anlagen ab. Auch bei neu errichteten Anlagen soll eine primäre Emissionsminderung Abluftreinigungsanlagen weitgehend überflüssig machen. Ziel der Lösemittelverordnung ist auch NMVOC-Emissionen aus individuellen Tätigkeiten bis zum Jahr 2010 um 70 bis 80 % im Vergleich zu 1990 zu mindern [61]. Es ist nicht auszuschließen, dass auf der Basis der PM10-Schwebstaub-Immissionsbegrenzung nach [8] in einzelnen Bereichen Emissionsminderungen über den Straßenverkehrsbereich hinaus durchgesetzt werden müssen.

Trotz deutlich gesteigener Fahrleistung sind vor allem als Folge der Modernisierung der Fahrzeugflotte die Emissionen im Be-

richtszeitraum – mit Ausnahme von CO₂ – nicht oder nur vorübergehend gestiegen. Dieser Trend wird sich mittelfristig trotz wachsender Fahrleistungen fortsetzen, da durch die weitere Vervollkommnung von Motoren und Abgasreinigungsanlagen die spezifischen Emissionen pro Fahrkilometer weiter sinken und die Fahrleistungszunahme überkompensiert werden.

Die natürlichen Emissionen haben angesichts sinkender anthropogener Emissionen an Bedeutung gewonnen. Insbesondere bei Staub und NMVOC ist ihr Beitrag zur Gesamtemission im Land

3 Entwicklung der Immissionen

Immissionen sind die auf Menschen, Tiere, Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie auf Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belastungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft hervorzurufen [3]. Ziel des Immissionsschutzes

3.1 Immissionsüberwachung

Die laufende landesweite Überwachung der Luftqualität ist für den Immissionsschutz von grundlegender Bedeutung. Die Höhe der Immissionen am Messort wird bestimmt durch die Höhe der Emissionen, deren Ableitbedingungen, die Oberflächenbeschaffenheit des Einwirkungsbereiches und durch die zwischen den Quellen und dem Messort wirkenden meteorologischen Ausbreitungsbedingungen. Hinsichtlich der Untersuchungsgegenstände unterscheidet man daher nach der 4. BImSchVwV [66]:



Brandenburg nicht mehr zu vernachlässigen. Die natürlichen NMVOC-Emissionen erbrachten gegen Ende des Berichtszeitraumes etwa 1/3 der Gesamt-NMVOC-Emission des Landes.

Biogene Emissionen werden im Allgemeinen an Bedeutung gewinnen, insbesondere biologische Stoffe (Mikroorganismen, Endotoxine, Mycotoxine, Glucane u.a.) etwa aus Kompostierungsanlagen werden aus lufthygienischen Erfordernissen hinsichtlich einer Limitierung zu überprüfen sein.

ist es diese Schutzgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu bewahren und deren Entstehen vorzubeugen. Der Schutz gegen Luftverunreinigungen ist Gegenstand vieler Rechts- und Verwaltungsvorschriften der EU, der Bundesrepublik Deutschland und des Landes Brandenburg.



TELUB-Messstelle (Außen- und Innenansicht)

- flächenbezogene Messstellen: Messstellen, an denen die Immissionssituation durch Luftverunreinigungen bestimmt wird, die Einzelquellen nicht eindeutig zuzuordnen sind und an denen diese für eine größere Fläche repräsentativ gemessen werden. Sie werden nach EU-Definition auch als Hintergrundmessstellen bezeichnet. Urbane Hintergrundmessstellen sind städtisch

repräsentative Messstellen, die durch Straßenverkehr größerer Intensität oder Industrie nicht direkt beeinflusst werden. Rurale Hintergrund-Messstellen sind Messstellen im quellfernen ländlichen Raum.

- **industriabezogene Messstellen:**
Messstellen, an denen die Immissionen überwiegend direkt durch einzelne stationäre Quellen der Industrie hervorgerufen werden.
- **verkehrsbezogene Messstellen:**
Messstellen, an denen die Immissionen überwiegend durch den eng benachbarten motorisierten Straßenverkehr hervorgerufen werden.

Es kamen im Berichtszeitraum unterschiedliche Messverfahren zum Einsatz, die sich im Wesentlichen aus dem telemetrischen Luftgütemessnetz mit Analysenautomaten auf der einen Seite und manuellen Probenahmen für Luftinhaltsstoffe auf der anderen Seite rekrutierten.

Die manuell gewonnenen Proben wurden im Landesumweltamt (LUA) nach entsprechenden VDI-Verfahren analysiert. Sowohl die Messungen im telemetrischen Luftgütemessnetz als auch die manuelle Probenahme und die Analytik der manuellen Proben unterliegen einer umfangreichen Qualitätssicherung, die etwa $\frac{1}{4}$ der Gesamtaufwendungen für die Messtätigkeit beanspruchen. Als Folge veränderter Überwachungserfordernisse und messtechnischer Möglichkeiten haben sich im Berichtszeitraum Verschiebungen der Schwerpunkte zwischen den einzelnen Messverfahren/ Messstrategien ergeben. Die Messungen wurden im Wesentlichen in folgender Form realisiert:



Verkehrsbezogene Messstelle



Telemetrisches Luftgütemessnetz

Das automatische stationäre telemetrische Luftgütemessnetz Brandenburg (TELUB) dient der kontinuierlichen, zeitnahen und repräsentativen Erfassung der Luftgüte im Land Brandenburg. Es umfasste im Jahr 1991 12 Stationen für die Bestimmung von Schwefeldioxid (SO_2) sowie 3 Mehrkomponentenmessstationen. Dabei waren die SO_2 -Messstellen in festen Gebäuden untergebracht und wurden mit dem in der DDR hergestellten coulometrischen SO_2 -Messgerät CM-5 betrieben. Die drei Mehrkomponentenmessstationen waren Containerstationen, die mit eignungsgeprüften Geräten gemäß [67] für die Erfassung der Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2), Ozon (O_3), Kohlenmonoxid (CO),

Schwebstaub, Schwefelwasserstoff (H_2S) und für die Messung meteorologischer Daten ausgerüstet waren.

Die Konfiguration des Messnetzes wurde im Laufe der Zeit verändert, um den jeweiligen Anforderungen an die Luftüberwachung optimal angepasst zu sein. So wurden die allein SO_2 messenden Stationen allmählich (bis 1997) abgebaut bzw. durch Mehrkomponentencontainer ersetzt, und auch die Ausstattung dieser Container wurde ständig angepasst. Die Entwicklung der Anzahl der Messstationen sowie der summarischen Geräteausstattung ist für die Komponenten SO_2 , Schwebstaub, NO_x und Ozon der Abb. 3.1 zu entnehmen. Die gegenwärtige Verteilung der Messstationen im Land Brandenburg zeigt Abb. 3.2.

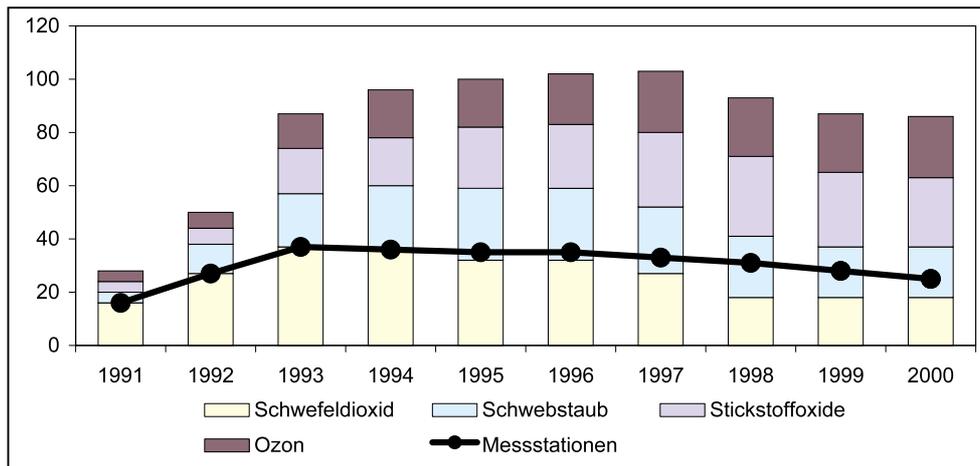


Abb. 3.1: Entwicklung der Anzahl der Messstationen und -geräte im telemetrischen Luftgütemessnetz

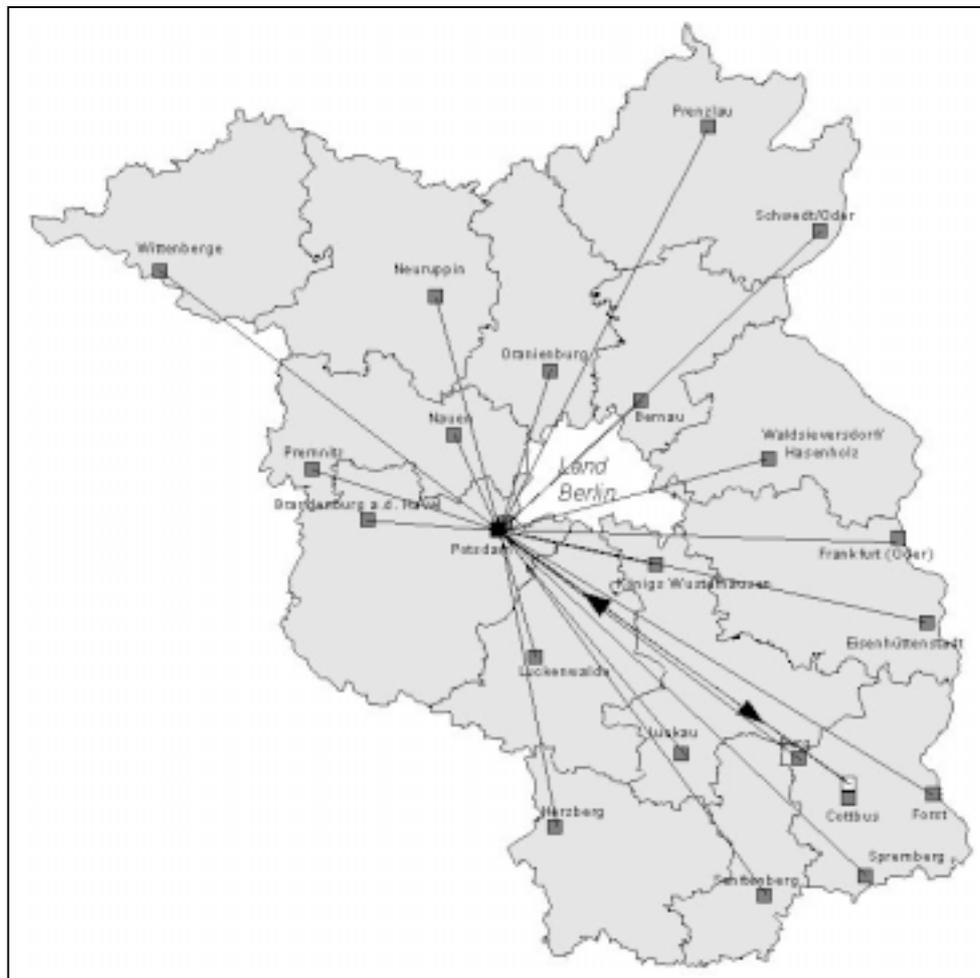


Abb. 3.2: Telemetrisches Luftgütemessnetz (Stand 31.12.2000)

Die Daten der Messgeräte werden in den Messstationen im 5-Sekunden-Rhythmus erfasst und zu 3-Minuten- und 30-Minuten-Werten aggregiert. Die aggregierten Werte werden durch die Messnetzzentrale abgerufen. Die so übertragenen Halbstundenwerte werden in der Messnetzzentrale in einer Datenbank gespeichert, durchlaufen dort automatische Prüfzyklen und erhalten nach einer Prüfung einen entsprechenden Freigabestatus. Nach Ablauf der automatischen Überprüfung stehen die Werte für die Veröffentlichung im Internet bereit.

Nichttelemetrische Pegelmessungen

Hierzu gehören alle Arten sonstiger Messungen, die an einem festen Messpunkt über einen längeren Zeitraum, in der Regel ein Jahr oder länger, durchgeführt werden und für die häufig keine hohe zeitliche Auflösung notwendig ist. Diese Messungen werden bei gasförmigen Luftschadstoffen neben Passivsammlern (z. B. für Benzol und NO_2) vor allem für solche Komponenten angewandt, die sich standardmäßig nicht automatisch erfassen lassen, zum Beispiel für Fluorwasserstoff (HF), Phenole oder die Summe nicht methanhaltiger leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe (NMVOC). Daneben erfolgt mit manuellen stationären Messeinrichtungen die Schwebstaubprobenahme zur Bestimmung von gesundheitsrelevanten Inhaltsstoffen, die Staubbiederschlags- und die Niederschlagsdepositionsprobenahme.



Blick in das Labor für Luftuntersuchungen



Kalibrierstelle (Detail)

Es kamen im Berichtszeitraum im Wesentlichen folgende Messstrategien zur Anwendung:

- **Manuelle 24-Stundenmessungen**
Hierzu gehören die Schwebstaubmessungen entsprechend VDI 2463 Bl. 7 [68] mit manuellem Probenwechsel, wodurch maximal 5 Proben pro Woche ermöglicht werden; seit 2000 kommen auch Geräte mit automatischem Probenwechsler zum Einsatz, mit denen ein täglicher Filterwechsel gewährleistet werden kann. Weiterhin erfolgen die Beprobungen organischer Verbindungen teilweise in diesem Rhythmus.
- **Passivsammler-Messungen**
Die Luftschadstoffe Benzol, Toluol, Xylol und NO_2 werden teilweise mittels Passivsammler erfasst. Es wird mit geringerem Aufwand die durchschnittliche Schadstoffkonzentration über den Expositionszeitraum (2 bis 4 Wochen) ermittelt.
- **Staubbiederschlagsmessungen**
Diese erfolgen entsprechend Richtlinie VDI 2119 Blatt 2 [69] mittels Bergerhoff-Methode über einen Probenahmezeitraum von einem Monat. Die Entwicklung der Anzahl von Staubbiederschlagsmessstellen und deren Anteil, der der Bestimmung von Spurenelementen dient, ist der Abbildung 3.3 zu entnehmen.
- **Niederschlagsdepositionsmessungen**
Die Niederschlagsdeposition (Summe aus trockenen sedimentierenden Partikeln und der Deposition von Regen und Schnee mit gelösten und ungelösten Inhaltsstoffen) wird an mehreren Messstellen mittels Bulk- oder Wet-only-Probenahme erfasst.

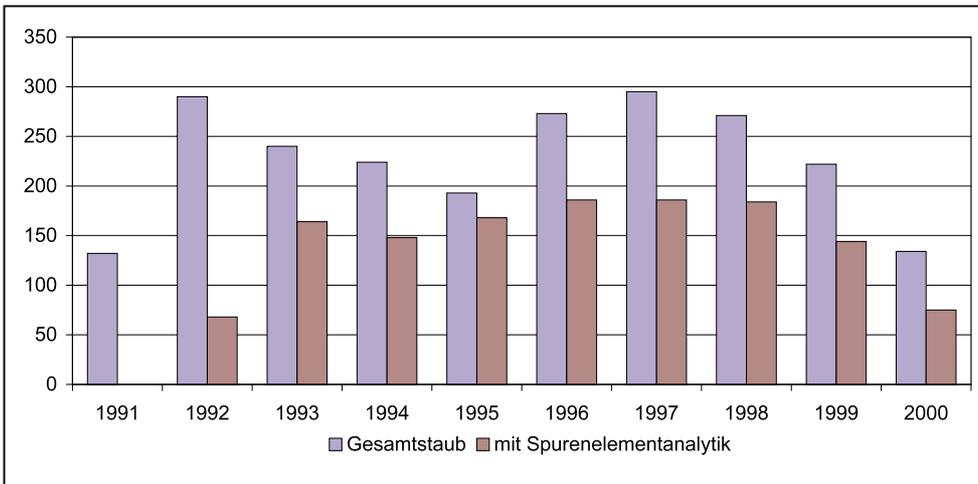


Abb. 3.3:
Entwicklung der Anzahl der
Staubniederschlagsmessstellen
im Land Brandenburg

Rastermessungen

Hier werden mit zeitlich befristeten Einzelmessungen Aussagen über die Luftbelastung in Gebieten mit erwarteten hohen örtlichen Gradienten der Luftqualität, wie vor allem in Städten, getroffen. Rastermessungen werden entsprechend den Vorgaben der TA Luft [12] in ausgewählten Gebieten betrieben, wobei die Messnetze je nach Örtlichkeit im 2 x 2-, 1 x 1- oder 0,5 x 0,5-km-Raster auf den Schnittpunkten der Gauß-Krüger-Koordinaten über das Messgebiet gelegt werden. Der Messzeitraum für ein Messnetz beträgt in der Regel ein Jahr, wobei an jedem Messpunkt mindestens 26 Proben je Komponente über eine Probenahmedauer von jeweils 30 Minuten gewonnen werden.



Luftgütemesswagen und ein Blick in das Innere



Zur Messung / Probenahme kommen Fahrzeuge mit automatisch registrierenden Geräten für die Schadstoffe SO_2 , NO_2 , CO und Ozon zum Einsatz; die Probenahme für VOC erfolgt manuell auf Aktivkohleröhrchen, sonstige Probenahmen (HF, Phenole etc.) erfolgen ebenfalls manuell. Da in den emissionsarmen Nachtstunden und Wochenenden bei Rastermessungen nicht beprobt wird, liegen die aggregierten Befunde von Rastermessungen systematisch über denen von Pegelmessungen am selben Standort.

Datenverwaltung und -veröffentlichung

Der große Umfang anfallender Einzelmesswerte bedarf einer leistungsstarken Datenverwaltung. Aus den erhobenen Einzel-

messwerten werden Immissionskenngrößen, z.B. Kenngrößen I1 (arithmetischer Mittelwert), I2 (98-Perzentil der Summenhäufigkeit) nach TA Luft [12], aggregiert. Die aus den Messwerten gewonnenen Kenngrößen beschreiben die festgestellte Immissionssituation mit wenigen aussagefähigen Daten und

gestatten deren Bewertung anhand von Grenz- oder anderen Beurteilungswerten. Diese Kenngrößen werden in das Immissionskataster gespeichert und sind über das Internet abrufbar. So wurden im Jahre 2000 Immissionsergebnisse (Einzelwerte) in folgendem Umfang gewonnen (Tab. 3.1):

Tab. 3.1:
Datenanfall in den Messprogrammen des LUA-Luftgütemessnetzes

Anzahl der Stationen/ Messpunkte	Anzahl der Messwerte	
TELUB-Messstationen insgesamt	26	2.352.000
Messgeräte	115	
Davon		
- Schwefeldioxid	16	271.000
- Stickstoffoxide	26	851.000
- Ozon	22	374.000
- Kohlenmonoxid	11	184.000
- Schwefelwasserstoff	3	50.000
- Kohlenwasserstoffe	1	21.000
- Schwebstaub	19	322.000
- Ruß	2	27.000
- Benzol	2	26.000
- Meteorologische Parameter	13	226.000
Rastermesspunkte	60	32.000
- Kohlenwasserstoffe (manuell)		27.000
Staubniederschlag-Pegelmessstellen	130	1.500
- dazu Elementbestimmungen		3.600
Schwebstaubmessstellen (manuell)	2	450
Verkehrsmessstellen - Ruß (manuell)	7	730
Verkehrsmessstellen - Benzol (manuell)	8	500
Verkehrsmessstellen - Stickstoffdioxid (manuell)	11	1.400

Die Einzelmesswerte des telemetrischen Luftgütemessnetzes werden in der Datenbank UBIS der Messnetzzentrale gespeichert. Analyseergebnisse, die aus den Proben manueller Probenahmen gewonnen werden, werden in der Datenbank LABSYS des Laborinformationssystems gespeichert.

Die Immissionsdaten werden alljährlich (seit 1991) in aggregierter Form in der Reihe „Luftqualität im Land Brandenburg“ [70] veröffentlicht. Daneben wurden in loser Folge zusammenfassende Spezialberichte zur Immissionssituation [16, 56, 71 bis 73] vom LUA herausgegeben. Neben diesen Luftqualitätsberichten veröffentlicht das LUA laufend in diversen Medien aktuelle Daten zur Immissionssituation:

- **ORB-Videotext** (Tafel 174)
 - aktuelle Messwerte (Sommer- Ozon; Winter – SO₂; NO₂)
- **Internet bzw. Intranet** (http://www.brandenburg.de/land/mlur/i/ind_luft.htm)
 - Messnetzkarte mit aktuellen Daten der Messstellen
 - aktuelle Messwertübersicht und eine Vortragsübersicht für SO₂, NO₂, Schwebstaub und Ozon
 - Monatskurzberichte und Pegelberichte der letzten 5 Tage
 - Informationen über das Luftgütemessnetz
- **Luftgütetelefon** (0031/291 268)
 - Prognosen der sommerlichen Ozonbelastung
- **VDI-Nachrichten**
 - wöchentlich Ergebnisse ausgewählter Schadstoffe aus dem telemetrischen Messnetz.

3.2 Flächen- und industriebezogene Immissionen

Wie bereits dargelegt, wurde die Entwicklung der Emissionssituation und damit auch die Entwicklung der Immissionssituation des Landes Brandenburg im Berichtszeitraum maßgeblich durch die Stilllegung oder Sanierung industrieller Quellen aus der Zeit vor 1991 geprägt. Dadurch wurden einige Messstellen, die zu Beginn des Berichtszeitraumes noch eindeutig industriebezogen waren, gegen Ende des Berichtszeitraumes zu urbanen Hintergrundmessstellen (z.B. Wittenberge oder Fürstenwalde). Da sich dieser Wandel meist über Jahre erstreckte, werden diese Messstellen in den nachfolgenden Darstellungen im gesamten Berichtszeitraum als industriebezogen kategorisiert. Da in der DDR außerdem – in Ermangelung hinreichend wirkungsvoller Abgasreinigungstechnik – die Emissionen von Großemittenten (insbesondere Kraftwerke) vielfach über Hochschornsteine (bis 300 m Höhe) in die Atmosphäre abgeleitet wurden, waren deren Einwirkungsgebiete meist ungewöhnlich groß. Die Grenzen zwischen industriebezogenen Messstellen und flächenbezogenen Messstellen waren daher häufig verschwommen. Vor diesem Hintergrund ist die gemeinsame Vorstellung der

flächenbezogenen und der industriebezogenen Immissionsbefunde im vorliegenden Kapitel sinnvoll.

• Zeitliche Immissionsentwicklung

Wie im voranstehenden Abschnitt dargelegt wurde, erfolgten flächenbezogene Messungen sowohl in Form kontinuierlicher oder quasikontinuierlicher Pegelmessungen als auch in Form diskontinuierlicher Rastermessungen. Rastermessungen sind von größerer räumlicher, aber von geringerer zeitlicher Repräsentativität als Pegelmessungen. Die folgenden Abbildungen zur zeitlichen Immissionsentwicklung basieren daher ausschließlich auf den Ergebnissen eigener kontinuierlicher oder quasikontinuierlicher Pegelmessungen und auf dankenswerterweise alljährlich zur Verfügung gestellten Messergebnissen des Umweltbundesamtes (UBA). Dargestellt werden jeweils die Spannweite der I1-Befunde über alle Messstellen der jeweiligen Messstellenkategorie (graue Fläche) und der arithmetische Mittelwert über alle Messstellen. Da die Zahl der Messstellen in den Jahresscheiben

nicht konstant war (siehe Abschnitt 3.1), liegen den Spannweiten und Mittelwerten sehr unterschiedliche Messstellenzahlen zu Grunde. Für einzelne Messstellen mit langer Betriebsdauer werden deren Ergebnisse zusätzlich vorgestellt.

• **Räumliche Immissionsentwicklung**

Die Darstellungen zur räumlichen Immissionsverteilung sind die Ergebnisse von rechnerischen Extrapolationen [74] auf der Basis der Messergebnisse der TELUB-Messstellen und uns freundlicherweise vom UBA und von angrenzenden Bundesländern zur Verfügung gestellten kontinuierlichen Pegelmessergebnissen. Einbezogen wurden die Ergebnisse von Hintergrund- und industriebezogenen Messstellen. Da erst ab 1994 eine hinreichend große Anzahl von TELUB-Messstellen verfügbar war, liegen die räumlichen Auswertungen erst von da an vor.

• **Windrichtungsabhängige Immissionsbefunde**

Um der Frage nachzugehen, ob aus dem östlichen Ausland Einflüsse auf die Immissionssituation Brandenburgs erkennbar sind, wurden die Messergebnisse der Messstellen in Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. einer detaillierten statistischen Analyse unterzogen. Es wurden charakteristische Herkunftssektoren der Immissionen für beide Messstellen definiert und mit Hilfe der simultanen Windrichtung wurden die Einzelwerte den Herkunftssektoren zugeordnet. In Eisenhüttenstadt ist der Sektor NNO-SSO und in Schwedt/O. der Sektor NO-SO als Herkunftsbereich aus Richtung Polen anzusehen. Um einen möglichen Einfluss auf kurzzeitige Spitzenbelastungen sichtbar zu machen, wurden diese Untersuchungen auch auf die Immissionskenngröße für die Kurzzeit-Immission I2 (98-Perzentil) ausgedehnt. In den in den nachfolgenden Abbildungen ungefüllt gebliebenen Sektoren wurden keine Untersuchungen durchgeführt, da diesen Bereichen keine charakteristischen Quellbereiche zugeordnet waren.

Im Detail wurden folgende Größen ermittelt:

- Immissionskenngrößen I1 und I2 in den Windrichtungssektoren und außerdem bei Windgeschwindigkeiten < 0,5 m/s (Calme)
- Relative Dosis: Summe der Halbstundenwerte der Immissionskonzentration im jeweiligen Windrichtungssektor, bezogen auf die Gesamtsumme aller Halbstundenwerte der Immissionskonzentration über alle Windrichtungssektoren (einschließlich Calme)

$$RD_k [\%] = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} HSW_{ik}}{\sum_{j=1}^m HSW_j} \cdot 100$$

- mit
- RD_k – Relative Dosis im Windrichtungssektor k
 - HSW – Halbstundenwerte der Immissionskonzentration
 - k – Windrichtungssektor
 - n_k – Anzahl der Halbstundenwerte im Windrichtungssektor k
 - m – Gesamtanzahl der Halbstundenwerte

Die relative Dosis zeigt die (relativen) Beiträge aus den einzelnen Windrichtungen zur Schadstoffdosis im betrachteten Zeitraum.

- Relative Quellstärke: Relative Häufigkeit der Überschreitung der Schwelle $0,30 \cdot IW2$ durch die Halbstundenwerte der Immissionskonzentration je Windrichtungssektor, bezogen auf die relative Häufigkeit der Windrichtung

$$RQ_k = \frac{x_k}{y} / \frac{n_k}{m}$$

- mit
- RQ_k – Relative Quellstärke im Windrichtungssektor k
 - x_k – Anzahl der Werte pro Windrichtungssektor k, die die Schwelle $0,30 \cdot IW2$ überschreiten

- y – Gesamtzahl der Halbstundenwerte über alle Windrichtungssektoren und Calme, die die Schwelle $0,30 \cdot IW2$ überschreiten
- n_k – Anzahl der Halbstundenwerte im Windrichtungssektor k
- m – Gesamtzahl der Halbstundenwerte
- k – Windrichtungssektor
- $IW2$ – Immissionswert für die Kurzzeitbelastung.

Relative Quellstärken größer 1 charakterisieren den zugehörigen Windrichtungssektor dergestalt, dass in ihm häufig (in Bezug zur Windrichtungshäufigkeit selbst) höhere Immissionen auftreten. Daraus kann mit hoher Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, dass in diesen Richtungen Schadstoffquellen angesiedelt sind, die die Höhe der I2-Kenngrößen nachweislich beeinflussen.

Hohe RD- und RQ-Werte bei Calme sind häufig ein Indiz dafür, dass die Immissionssituation an der Messstelle in erheblichem Maße durch nahe gelegene Schadstoffquellen mit niedriger Quellhöhe (z. B. Hausbrand oder Straßenverkehr) bestimmt wird.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass diese Abschätzungen ungeeignet sind den grenzüberschreitenden Transport von Luftverunreinigungen zu bilanzieren. Beispielsweise haben detaillierte Untersuchungen [73a] ergeben, dass 1994 Emissionen aus

- Deutschland in Polen in folgender Höhe deponiert wurden:
 - oxidierter Schwefel (Angaben als Schwefel) : 240 kt/a
 - oxidierter Stickstoff (Angaben als Stickstoff) : 61 kt/a
- Polen in Deutschland in folgender Höhe deponiert wurden:
 - oxidierter Schwefel: 25 kt/a
 - oxidierter Stickstoff: 8 kt/a.

• **Ausgewählte Rastermessungen**

Vorgestellt werden auch die Ergebnisse repräsentativer Rastermessungen. Hier werden die Spannweiten der I1-Befunde aller Teilmessflächen des jeweiligen Rastermessnetzes und der arithmetische Mittelwert über alle Teilflächen dargestellt.

3.2.1 Anorganische Gase

Gemessen wurden routinemäßig – mit unterschiedlicher Messstellendichte – Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxide (NO , NO_2), Ozon (O_3), Kohlenmonoxid (CO) und Schwefelwasserstoff (H_2S).

3.2.1.1 Schwefeldioxid

Die Schwefeldioxid-Immission ist den Abbildungen 3.4 und 3.5 zu entnehmen.

Im landesweiten Mittel lagen im Jahre 1989 die SO_2 -Immissionen (I1) urbaner Hintergrundmessstellen mit $56 \mu g/m^3$ noch über den industriebezogenen Messstellen ($43 \mu g/m^3$); ab 1991 wurden die mittleren Befunde beider Messstellenarten praktisch gleich hoch festgestellt (Abbildung 3.4). Die urbane Luftqualität war bis zu Beginn der 90er Jahre durch den Hausbrand und die Wärmeerzeugung gewerblicher Anlagen mittels Braunkohle geprägt, im Süden und in der Mitte Brandenburgs zusätzlich durch Großkraftwerke. Die urbanen und die industriegeprägten Immissionen sanken im Mittel im Zeitraum 1991 bis 2000 auf 14 %. 2000 waren die Immissionen an den urbanen und den industriebezogenen Messstellen im Mittel gleich groß. Während 1989 die SO_2 -Immissionen an den ruralen Hintergrundmessstellen im Mittel 39 % der Immissionen urbaner Messstellen betrug, wurden im Jahr 2000 keine nennenswerten Unterschiede mehr festgestellt. Statistische Trenduntersuchungen zeigen mit meist ho-

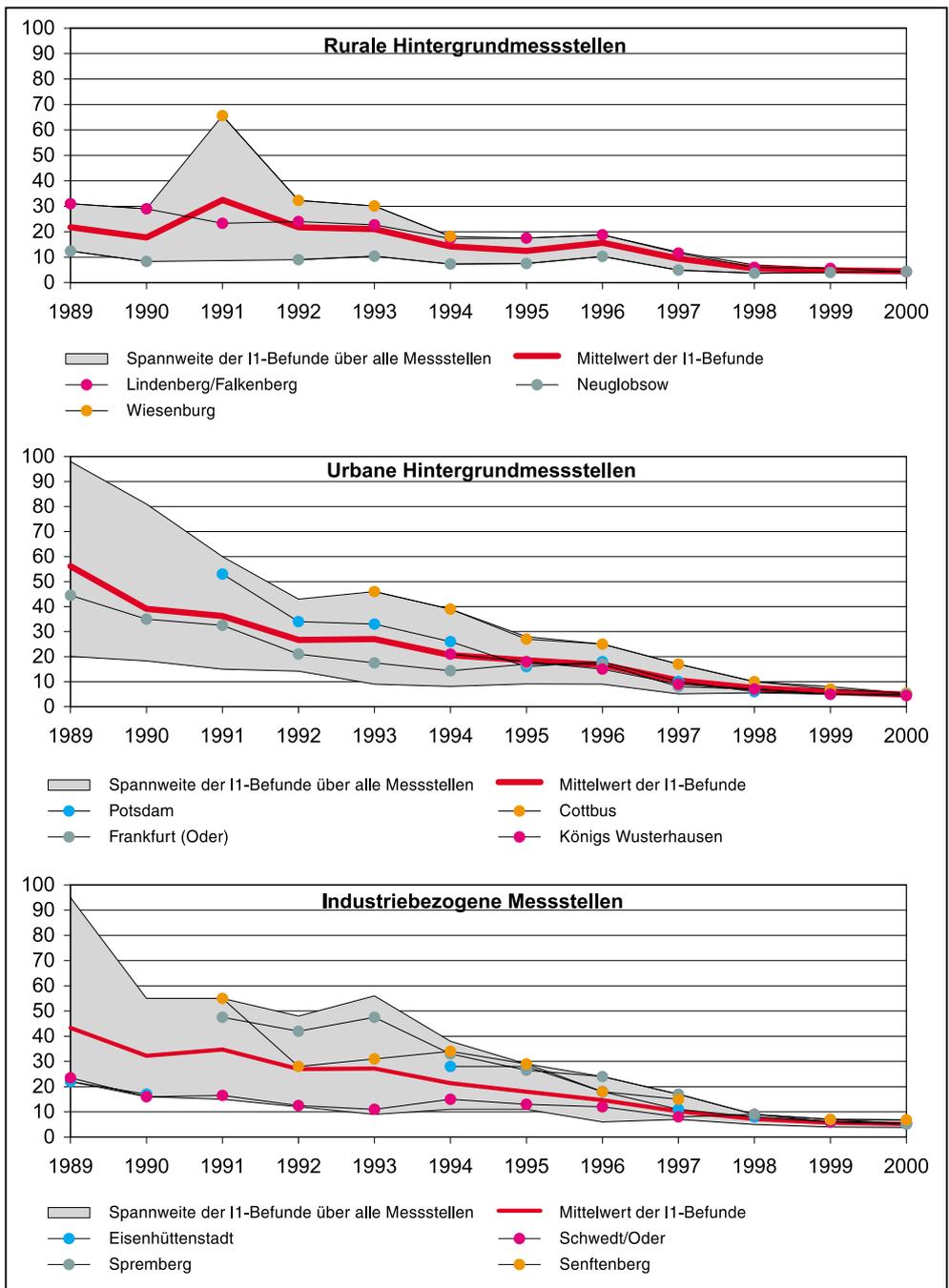


Abb. 3.4: Immissionsentwicklung Schwefeldioxid (I1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Land Brandenburg (Pegelmessungen)

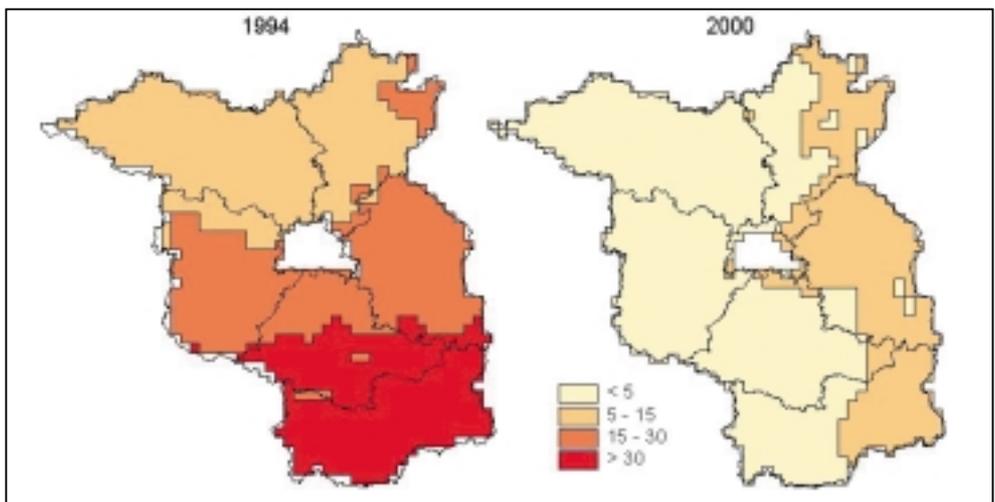


Abb. 3.5: Räumliche Immissionsverteilung Schwefeldioxid (I1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Land Brandenburg in den Jahren 1994 und 2000 (Pegelmessungen)

AB Neuruppin

- Neuruppin 91
- Oranienburg 87
- Oranienburg 93
- Wittenberge 87-89
- Wittenberge 95

AB Schwedt/Oder

- Bernau 94
- Eberswalde-Finow 95
- Prenzlau 96
- Schwedt/O 95
- Schwedt/O 99

AB Brandenburg a.d.H.

- Brandenburg a.d.H. 90
- Brandenburg a.d.H. 91
- Brandenburg a.d.H. 96
- Potsdam 84
- Potsdam 93
- Potsdam 98/99
- Premnitz 91
- Rathenow 90
- Rathenow 91
- Teltow/Kleinm/Stahnsd 89
- Teltow/Kleinm/Stahnsd 94

AB Frankfurt (O)

- Bad Freienwalde 97/98
- Eisenhüttenstadt 94
- Frankfurt (O) 95
- Fürstenwalde 95
- Rüdersdorf 94
- Strausberg 96

AB Wünsdorf

- Königs Wusterh 92/93
- Luckenwalde 87
- Luckenwalde 95
- Ludwigsfelde 94

AB Cottbus

- Cottbus 91/92
- Cottbus 96
- Elsterwerda 99
- Finsterwalde 97
- Forst 98
- Lauchhammer 87-89
- Lauchhammer 94
- Senftenberg 91/92
- Spremberg 95
- Spremberg 88/89

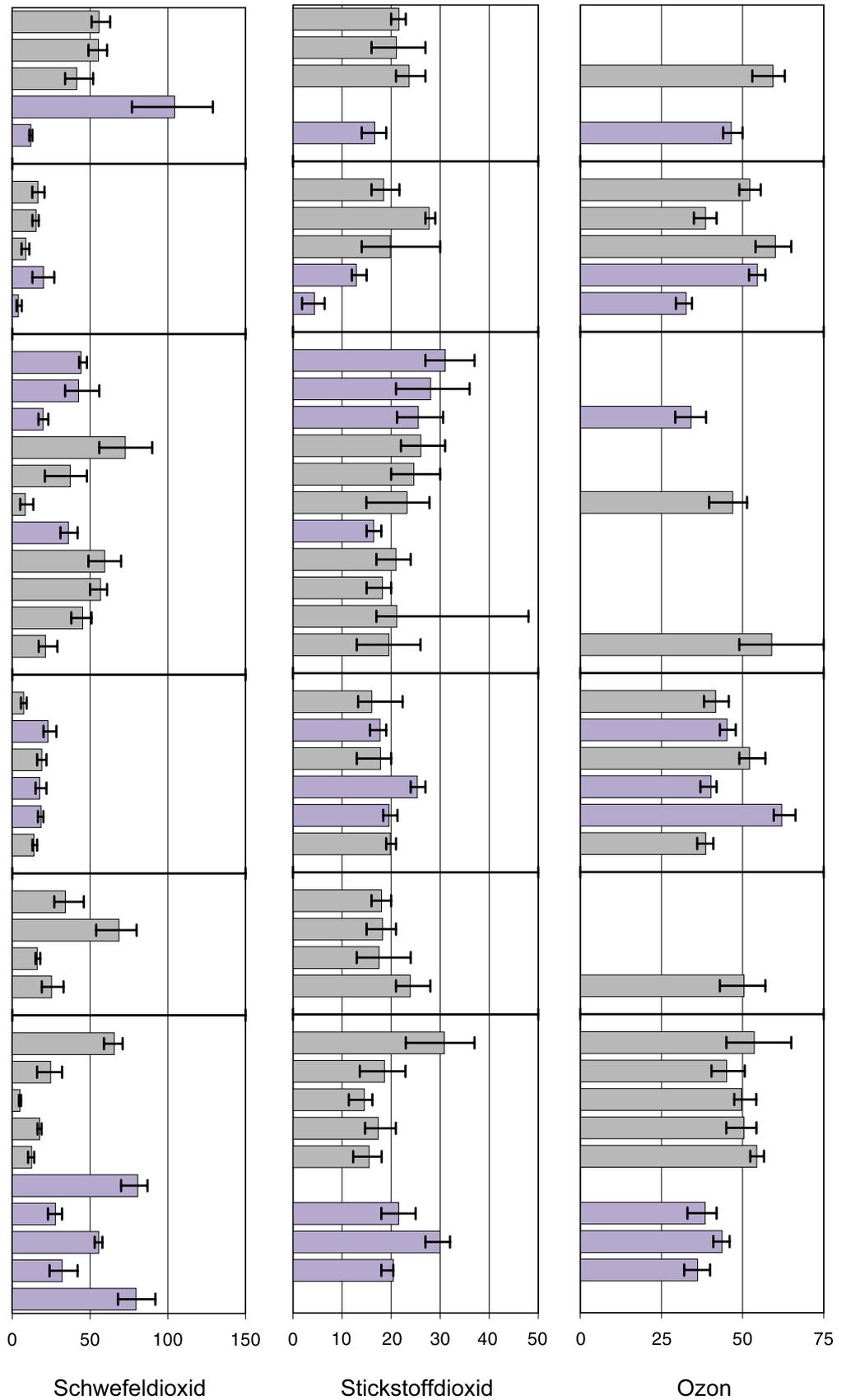
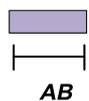


Abb. 3.6:
11-Immissionskenngrößen aus-
gewählter Rastermessungen
(Angaben in µg/m³)



industriegeprägte Immissionssituation
Schwankungsbreite der 11-Kenngrößen innerhalb eines Messnetzes
Aufsichtsbezirk des jeweiligen Amtes für Immissionsschutz

hem Bestimmtheitsmaß für alle drei Messstellenarten eindeutige Immissionsreduzierungen im Berichtszeitraum, wobei in den ehemals höher belasteten Regionen meist auch die größten Verbesserungen erreicht wurden.

Hinzuweisen ist auf relativ hohe SO₂-Immissionen urbaner Hintergrundmessstellen bis Anfang der 90er Jahre auch in Landesteilen ohne große Kraftwerke (Afl-Aufsichtsbezirk (AB) Brandenburg a. d. H., AB Wünsdorf, AB Neuruppin) (Abb. 3.6). Dies resultiert daraus, dass diese Gebiete nicht oder nur teilweise mit der schwefelärmeren Braunkohle des Lausitzer Reviers versorgt wurden. Die SO₂-Emissionen in diesen Landesteilen vermitteln dies nicht hinreichend (Abb. 2.3), da die häuslichen Feuerstätten mit der niedrigen Schadstoffabführung den Effekt erhöhter Emissionen immissionsseitig erheblich verstärken. Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre lag in den alten Bundesländern die SO₂-Immission (I1) fast flächendeckend unter 25 µg/m³, an ruralen Hintergrundmessstellen zwischen 4 und 6 µg/m³ und 1995 bei 3 µg/m³ [75 (1997)].

In den industriellen Regionen Sachsens, Sachsen-Anhalts und Thüringens wurden 1990 großflächig noch I1-Kenngrößen über 150 µg/m³ festgestellt [75 (2001)], d.h. hier waren die Belastungen noch höher als in Brandenburg. Ursachen des Unterschieds waren die schwefelärmere Braunkohle und der Betrieb vieler Großemittenten mit hohen Schornsteinen sowie die günstigere Orographie in Brandenburg.

Gegen Ende des Berichtszeitraumes waren zwischen den alten und den neuen Bundesländern keine Unterschiede mehr zu erkennen [75 (2001)]. Die Abbildungen 3.4 bis 3.6 zeigen, dass die deutlichen räumlichen Unterschiede der SO₂-Immissionen in Brandenburg zu Beginn des Berichtszeitraumes bis 2000 erheblich verringert wurden. Das deutliche Süd-Nord-Gefälle hatte sich bis zum Jahr 2000 in ein gering ausgeprägtes Ost-West-Gefälle gewandelt. Die Emissionsverteilung (Abb. 2.3) zeigt ein analoges Bild.

Einen systematischen Unterschied zwischen dem Immissionsniveau der Hintergrundmessstellen in Großstädten (über 100.000 Einwohnern) und in Städten mit Einwohnerzahlen unter 50.000 gab es selbst zu Beginn des Berichtszeitraumes nicht. Die größere Bevölkerungsdichte/Emissionsdichte der Großstädte wurde dadurch teilweise oder total kompensiert, dass die Großstädte häufig großflächig mit Fernwärme versorgt wurden oder eine andere immissionsmindernde zentrale Wärmeversorgung verfügbar war, was in kleinen Städten eher selten zutraf.

Wie bereits dargelegt, sollen windrichtungsabhängige Analysen der I1- und I2-Kenngrößen an den Messstellen Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. eine Einschätzung der Einflüsse von Einträgen aus Richtung Polen auf das Immissionsgeschehen im grenznahen Raum ermöglichen. Abbildung 3.7 zeigt, dass

1995/96 in Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. die I1-Kenngröße bei Winden aus Richtung Polen im Vergleich zu den anderen Sektoren erhöht war. Die relative Dosis war aus diesem Sektor jedoch nur in Schwedt/O. überhöht. Bezüglich der kurzzeitigen Spitzenbelastung (I2) war der Herkunftssektor Polen bei beiden Messstellen sowohl hinsichtlich der sektoralen I2-Werte als auch hinsichtlich der relativen Quellstärke (als Maß für die Häufigkeit des Auftretens hoher Einzelwerte im Vergleich zur Windhäufigkeit aus dem jeweiligen Sektor) unauffällig.

2000 der I1-Wert in Eisenhüttenstadt aus Richtung Polen etwas überhöht war, in Schwedt/O. jedoch weder der I-Wert noch die relative Dosis überhöht war und der I2-Wert und die relative Quellstärke in Eisenhüttenstadt aus dem Sektor Polen deutlich überhöht waren, während in Schwedt/O. für beide Parameter keine Überhöhung feststellbar war.

Aus den vorgestellten Analyseergebnissen und den gleichen Untersuchungen für 1997/98 und 1999 ergibt sich folgende zusammenfassende Aussage:

- 1995/96 waren im östlichen Randbereich Brandenburgs hinsichtlich I1 und relativer Dosis aus Richtung Polen erhöhte Einträge zu verzeichnen. Dieser Effekt war in Schwedt/O. ab 1997/98 nicht mehr feststellbar. In Eisenhüttenstadt war die Überhöhung des sektoralen I1-Wertes selbst im Jahr 2000 – auf geringerem Niveau – noch feststellbar.
- Auffällig hohe Beiträge zur I2-Kenngröße aus Richtung Polen wurden nur in Eisenhüttenstadt und in den Jahrescheiben nur unregelmäßig ermittelt; letzteres ist vermutlich dem geringen I2-Stichprobenumfang geschuldet.

Nach der TA Luft [12] betragen der zulässige Immissionswert für die Dauerbelastung IW1 0,14 mg/m³ und der zulässige Immissionswert für die Kurzzeitbelastung IW2 0,40 mg/m³. Wie die Abbildungen 3.4 und 3.5 belegen, wurde der IW1 im gesamten Berichtszeitraum an allen Messstellen nicht überschritten und seit Mitte der 90er Jahre erheblich unterschritten. Auch die im vorliegenden Bericht nicht vorgestellten I2-Befunde haben den IW2-Wert sicher unterschritten. Die Befunde des Jahres 2000 hielten auch die strengen Grenzwerte nach der Richtlinie 1999/30/EG [8] problemlos ein.

3.2.1.2 Stickstoffoxide

Da **Stickstoffmonoxid** nur eine sehr kurze atmosphärische Lebensdauer hat, werden im vorliegenden Bericht die festgestellten Immissionen nicht detailliert vorgestellt. Die festgestellten Immissionen lagen zu Beginn des Berichtszeitraumes im Allgemeinen unter 12 µg/m³ und im Jahr 2000 unter 9 µg/m³.

Die **Stickstoffdioxid**-Immissionssituation ist den Abbildungen 3.8 und 3.9 zu entnehmen.

Nur die industriebezogenen und wenige urbane Hintergrundmessstellen zeigten im Mittel seit 1992 einen sinkenden Trend. Die erreichten Minderungen waren häufig klein und auch das Bestimmtheitsmaß der Trendanalysen blieb meist gering. Die Immissionen an den Hintergrundmessstellen waren im Mittel etwa gleich, da insbesondere in den Städten die Zunahme der Emissionen durch Straßenverkehr und Kleinf Feuerungsanlagen durch Emissionsminderungen industrieller Quellen etwa kompensiert wurden. Die im Vergleich zu SO₂ meist höheren Spannweiten der NO₂-Befunde in den Städten (Abb. 3.6) sind ein Hinweis auf den Einfluss dieser Emittenten auf die urbane Immissionsituation. Die I1-Befunde großstädtischer Hintergrundmessstellen waren im Vergleich zu denen kleinerer Städte vor allem zu Beginn des Untersuchungszeitraumes geringfügig erhöht; bei den I2-Befunden war diese Differenz etwas größer. Seit 1998 unterscheiden sich im Mittel die Befunde industriebezogener Messstellen und urbaner Hintergrundmessstellen

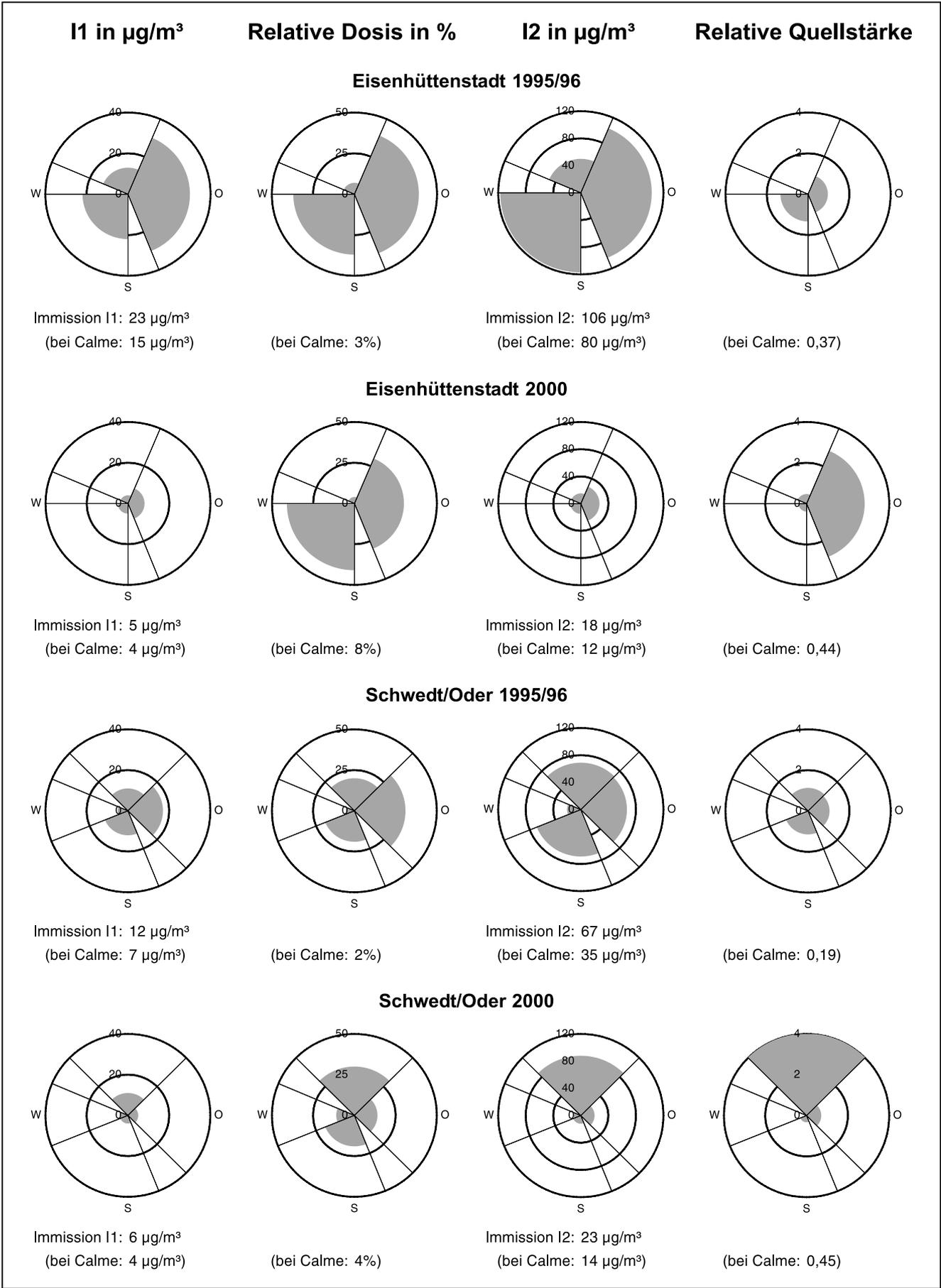


Abb. 3.7: Windrichtungsabhängige SO_2 -Befunde

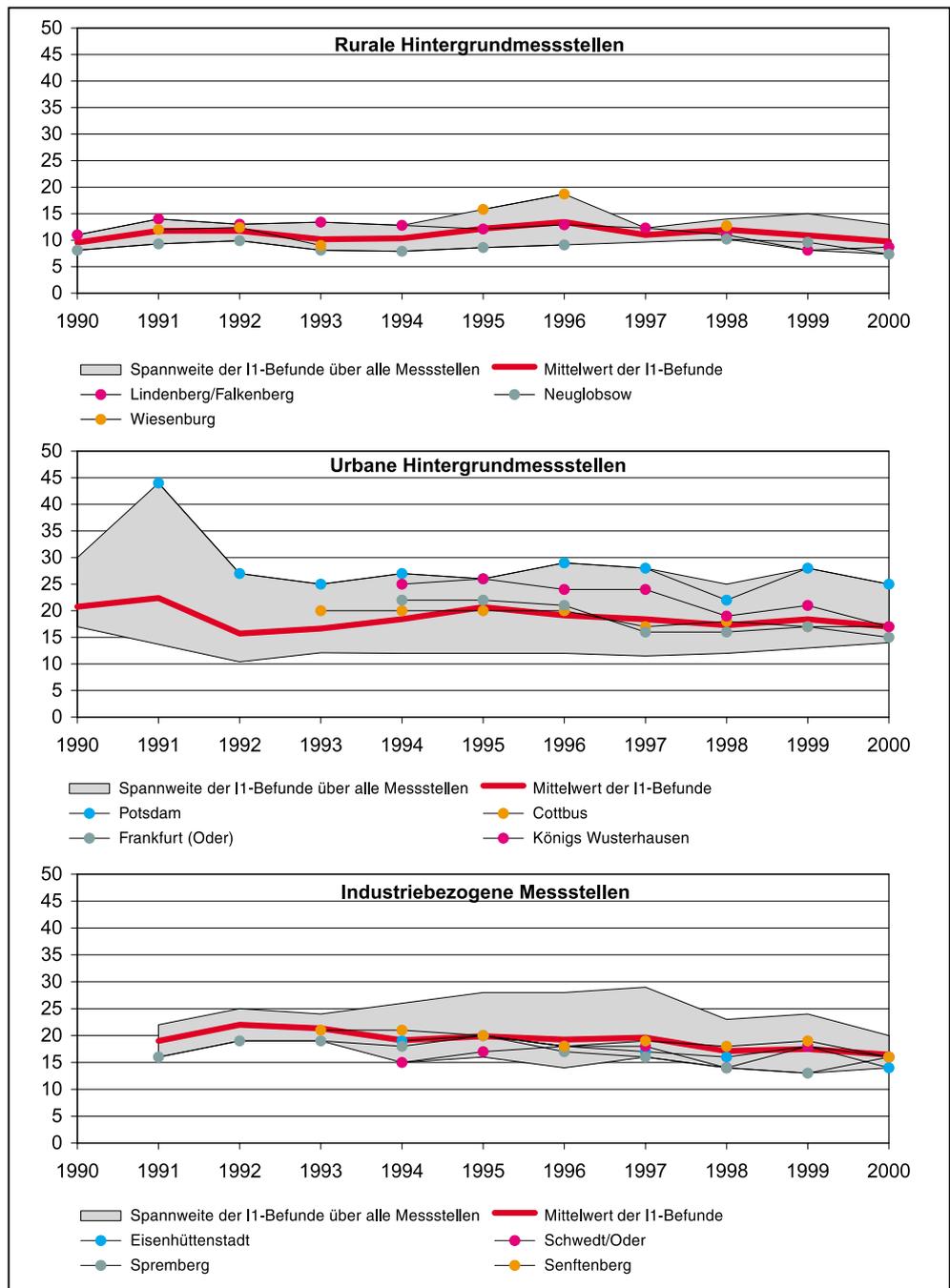


Abb. 3.8. Immissionsentwicklung Stickstoffdioxid (I1 in µg/m³) im Land Brandenburg (Pegelmessungen)

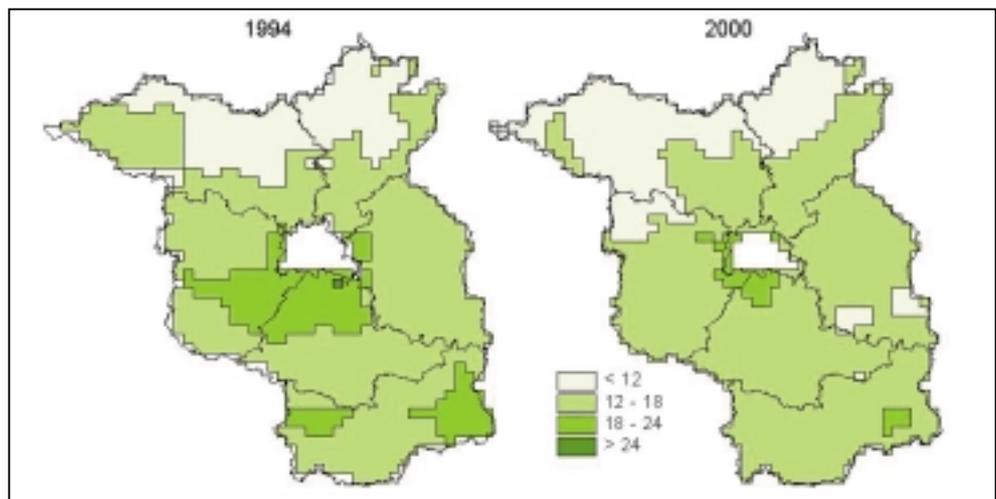


Abb. 3.9: Räumliche Immissionsverteilung Stickstoffdioxid (I1 in µg/m³) im Land Brandenburg in den Jahren 1994 und 2000 (Pegelmessungen)

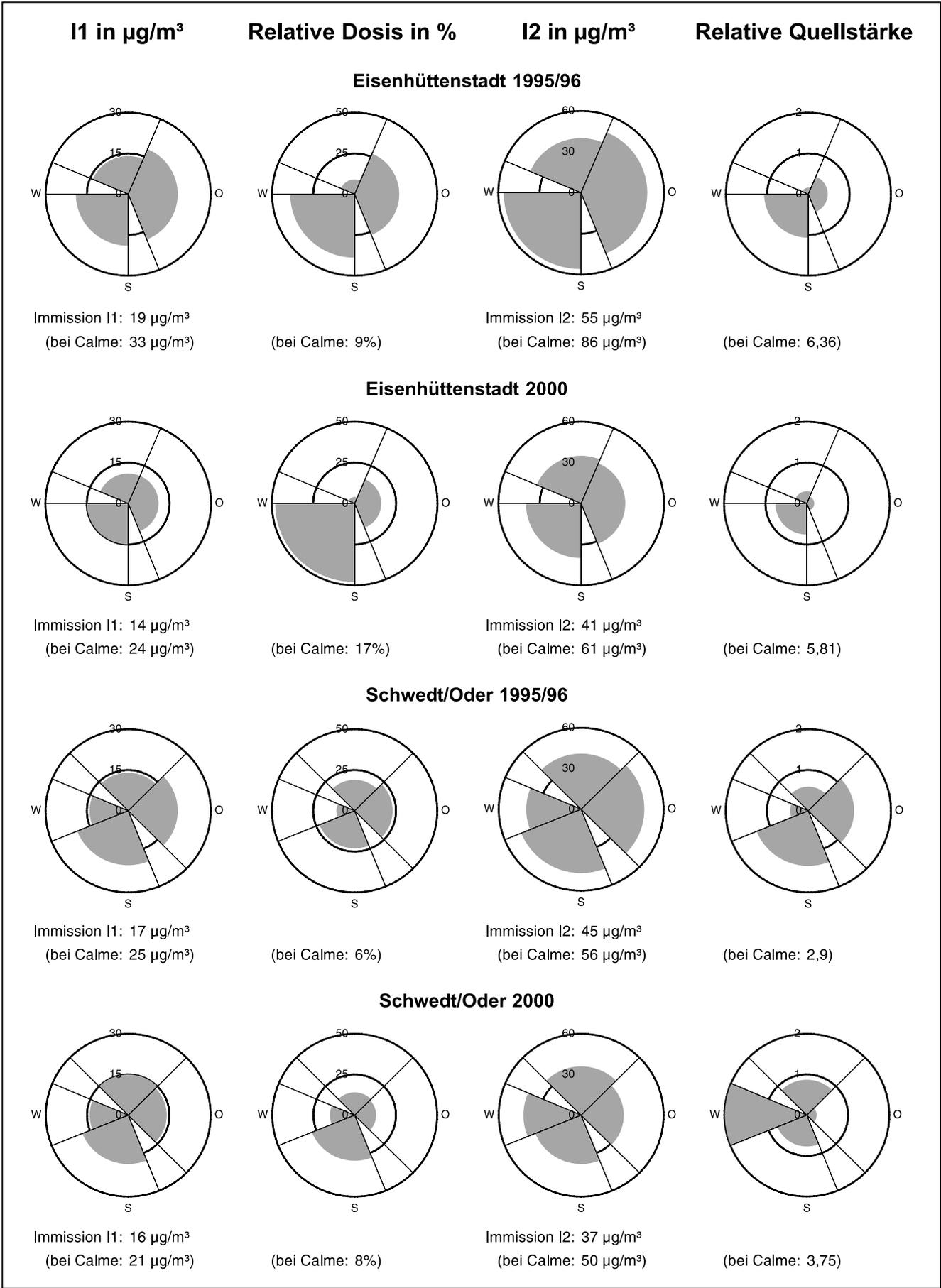


Abb. 3.10: Windrichtungsabhängige NO_2 -Befunde

nicht mehr. Die Immissionen ruraler Hintergrundmessstellen bewegten sich im Landesmittel seit 1992 im Bereich um 70 % der Immissionen urbaner Hintergrundmessstellen.

Ende der 80er/Anfang der 90er Jahre lag in den alten Bundesländern die NO_2 -Immission (I1) fast flächendeckend bei etwa 20 bis 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [76 (1992)] und an ruralen Hintergrundmessstellen – auch der neuen Länder – zwischen 8 und 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [75 (1998)]. Die NO_2 -Immission in den neuen Bundesländern wurde für den Zeitraum 1988 – 1990 mit 10 bis 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben [76 (1992)]. 1989/1991 betrug die NO_x -Emission der alten Bundesländer 2,75 Mio. t/0,49 Mio. t [76 (1994)]. Auch im Jahr 1999 hatten sich die Immissionen in Deutschland nicht wesentlich verringert im Vergleich zu den Befunden 1988 in den alten Bundesländern [75 (2001)].

Die Abbildungen 3.8 und 3.9 zeigen auch für die NO_2 -Immissionen ein Süd-Nord-Gefälle, das 2000 im Vergleich zu 1994 nur geringfügig abgebaut wurde, indem in der Mitte und im Süden die Flächen mit Immissionen größer 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas reduziert wurden. Der Kranz erhöhter Immissionen um Berlin ist im Wesentlichen verkehrsbedingt.

Ein maßgeblicher Eintrag von NO_2 in den östlichen Randbereich Brandenburgs aus Richtung Polen ist nach den Auswertungen der Herkunftsbereiche der Immissionen in Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. (Abb. 3.10) nicht gegeben. Für beide Städte ist es charakteristisch, dass die höchsten Immissionen bei Calme und bei Winden aus dem städtischen Kernbereich festgestellt wurden, also der Straßenverkehr und stationäre innerstädtische Quellen die Immissionssituation dominieren.

Nach der TA Luft [12] beträgt der zulässige Immissionswert für die Dauerbelastung IW1 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, der Grenzwert für die Kurzzeitbelastung 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [12, 77]. Wie die Abbildungen 3.6, 3.8 und 3.9 belegen, wurde im Berichtszeitraum der IW1 an allen Messstellen deutlich unterschritten, dasselbe gilt für den IW2-Wert.

Der NO_2 -Jahresgrenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nach der Richtlinie 1999/30/EG [8] wurde im Jahr 2000 in Brandenburg an den Hintergrund- und an den industriebezogenen Messstellen sicher eingehalten. Dies galt auch für den NO_x -Jahreswert zum Schutz der Vegetation von 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [8] nicht nur an den ruralen Hintergrundmessstellen.

3.2.1.3 Ozon

Ozon wird nicht direkt emittiert, sondern ist eine Sekundärverbindung, die durch die photochemische Umwandlung von Vorläufersubstanzen (z.B. NO_x und VOC) in der Troposphäre gebildet wird. Ozon ist Hauptbestandteil (ca. 90 %) des sogenannten Sommersmogs, der auch andere Photooxidantien (Peroxiacetylnitrat (PAN), H_2O_2 , HNO_3 , Aldehyde und Peroxy- und Hydroxylradikale) enthält, die ebenfalls unter intensiver Sonneneinstrahlung entstehen können. Ozon gilt als Leitsubstanz für den Sommersmog. Die Ozon-Immissionssituation ist den Abbildungen 3.11 und 3.12 zu entnehmen.

Die Ozon-Immission (I1) ruraler Hintergrundmessstellen ist im Landesmittel – abgesehen von annualen Schwankungen – seit 1992 leicht gestiegen (Abb. 3.11). Für den Zeitraum 1989 bis 1991 sind eher größere jährliche Schwankungen auffällig, als dass sich bereits ein eindeutiger Trend abzeichnen beginnt. Auch an den urbanen Hintergrundmessstellen und an den industriellen Messstellen ist seit Beginn intensiver Messtätigkeit (1994) die zeitliche Entwicklung eher durch annuelle Schwankungen gekennzeichnet, als dass durchgehend ein Trend erkennbar ist. Bekanntlich haben die meteorologischen Schwankungen beim Ozon in besonderem Maße Einfluss auf die Immission. Deutschlandweit sind die Jahresmittelwerte der Ozonkonzentration im Zeitraum 1990 bis 1999 um 15 % angestiegen [78]. Die räumliche Verteilung (Abb. 3.12) zeigt ein Nord-Süd-Gefälle der I1-Kenngrößen, auch wenn sich die absoluten Unterschiede nur in der Größenordnung von bis zu 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bewegen. Grundlegende Änderungen des Verteilungsbildes sind zwischen den „Momentaufnahmen“ 1994 und 2000 kaum erkennbar. Die trotz der in dieser Region geringen Emission der Vorläufersubstanzen im Norden vergleichsweise erhöhten Immissionen erklärten sich daraus, dass die Ozonbildung Zeit braucht. Dadurch werden die Hauptquellgebiete der Vorläufersubstanzen und die Ozonmaxima räumlich voneinander getrennt. Bei den schnell reagierenden Olefinen bedeutet das einige km, für die Hauptvorläufersubstanzen aber (z.B. Kfz-Abgase) ca. 50 bis einige 100 km [79]. Außerdem wird in den Quellgebieten das tagsüber erzeugte Ozon durch frisch emittiertes NO abgebaut. Die Abbauvorgänge sind auch der Grund für die – angesichts geringer räumlicher Konzentrationsänderungen – relativ hohen Befund-Spannweiten innerhalb der Städte (Abb. 3.6).

Hinsichtlich des Ozoneintrages aus Richtung Polen (Abb. 3.13) zeigt sich, dass

- sich der Beitrag zur I1-Immission in dem Niveau bewegt, das an beiden Messstellen aus dem Stadtkernbereich herangeführt wird; die daraus resultierende Dosis ist auf Grund der geringeren Windhäufigkeit aus Richtung Polen unbedeutend.
- ein höherer Beitrag zu kurzzeitigen Spitzenbefunden (I2 und relative Quellstärke) aus dem Herkunftssektor Polen gegeben ist.
- an der Messstelle Eisenhüttenstadt die Überhöhung aus Richtung Polen deutlicher hervortritt als an der Messstelle Schwedt/O. In Schwedt/O. wird die Verteilung wahrscheinlich durch industrielle Quellen für Olefine und NO_x vor Ort etwas maskiert.

Für die Ozon-Dauerbelastung (I1) gibt es keinen Grenzwert. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder der Vegetation wurden allerdings Schwellenwerte festgelegt. Schwellenwerte sind Schadstoffkonzentrationen oder -dosen, ab welchen bestimmte Wirkungen beobachtet oder Vorsichtsmaßnahmen erforderlich werden. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit gelten nach [77] folgende Schwellen:

- 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Gleitender 8-Stunden-Mittelwert,
- 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Mittelwert über 1 Stunde als Schwellenwert zur Unterrichtung der Bevölkerung,
- 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Mittelwert über 1 Stunde als Schwellenwert für die Auslösung des Warnsystems.

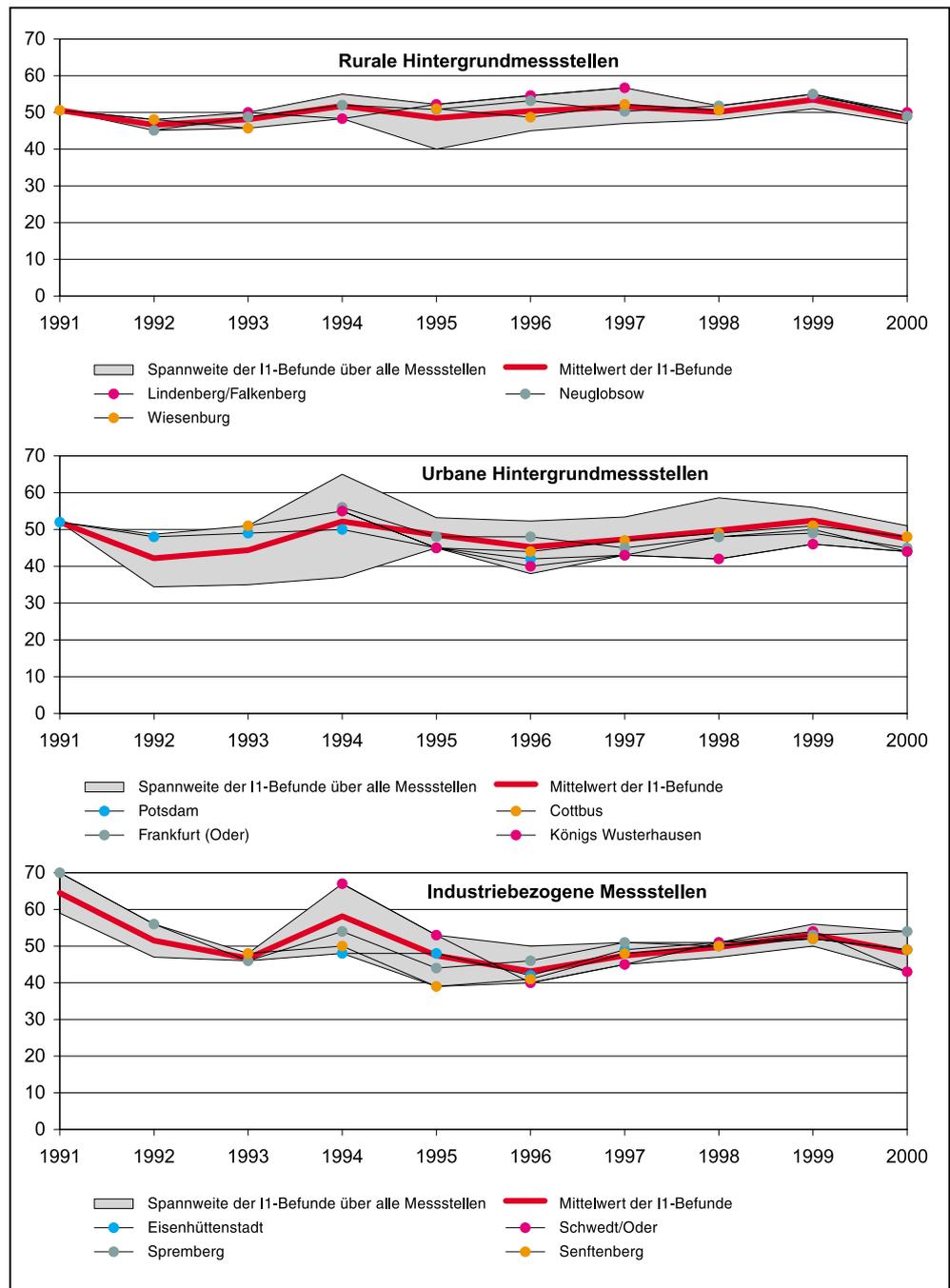


Abb. 3.11: Immissionsentwicklung Ozon (I1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Land Brandenburg (Pegelmessungen)

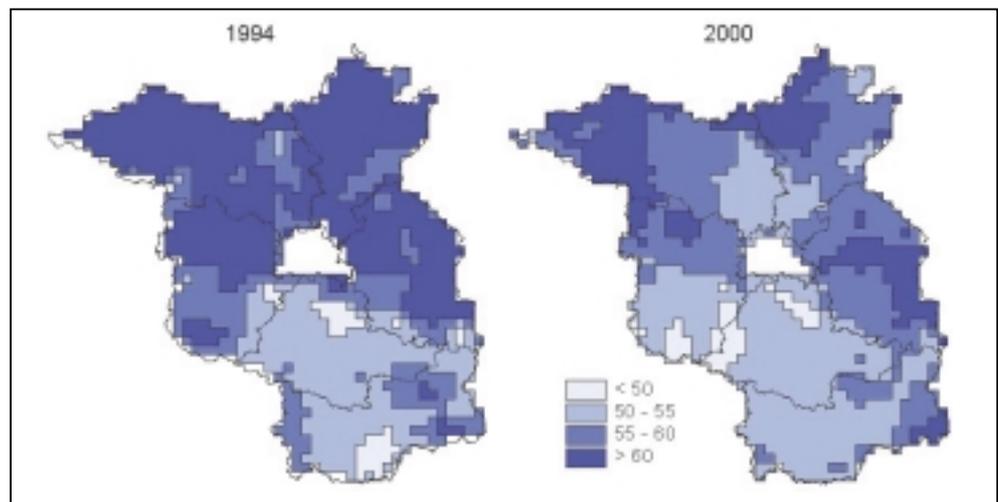


Abb. 3.12: Räumliche Immissionsverteilung Ozon (I1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Land Brandenburg in den Jahren 1994 und 2000 (Pegelmessungen)

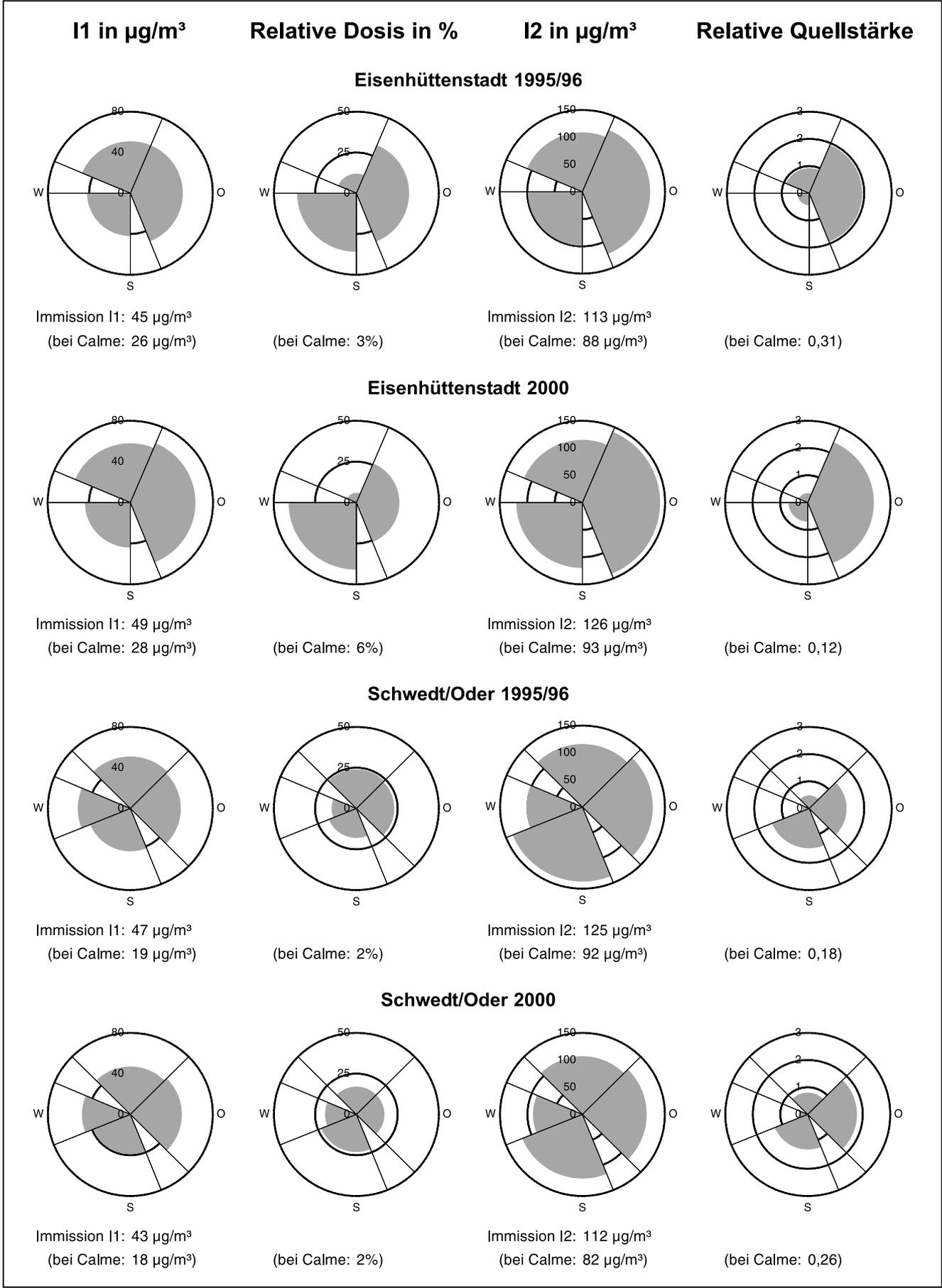


Abb. 3.13: Windrichtungsabhängige Ozon-Befunde

Begrenzungsvorschläge der EU für den Schutz der menschlichen Gesundheit liegen in folgender Form vor [80]:

Informationsschwelle: 180 µg/m³ (1-Stunden-Mittelwert)
 Alarmschwelle: 240 µg/m³ (1-Stunden-Mittelwert)
 Zielwert bis 2010: 120 µg/m³ als 8-Stunden-Mittelwert eines Tages darf höchstens an 25 Tagen pro Kalenderjahr überschritten werden, gemittelt über 3 Jahre
 Langfristiger Zielwert: 120 µg/m³ als 8-Stunden-Mittelwert eines Tages, ohne Überschreitungstoleranz.

Zum Schutz der Vegetation existieren neben einem Schwellenwert (65 µg/m³ als Mittelwert über 24 Stunden [77]) Vorschläge [80] für einen Dosis-Grenzwert AOT 40 (accumulation over the threshold of 40 ppb). AOT 40 errechnet sich als Summe der Differenz zwischen stündlichen Konzentrationen über 80 µg/m³ (=40 ppb) und 80 µg/m³ während einer gegebenen Zeitspanne unter ausschließlicher Verwendung der stündlichen Werte zwischen 8 Uhr morgens und 20 Uhr abends mitteleuropäischer Zeit an jedem Tag. Diese AOT 40-Limitierungen existieren für verschiedene Ziele zum Schutz der Vegetation als Vorschläge:

Zielwert bis zum Jahr 2010: 18.000 µg/m³·h (gemittelt über 5 Jahre) berechnet aus 1-Stunden-Mittelwerten von Mai bis Juli
 Langfristiger Zielwert: 6.000 µg/m³·h (gemittelt über 5 Jahre) berechnet aus 1-Stunden-Mittelwerten von Mai bis Juli

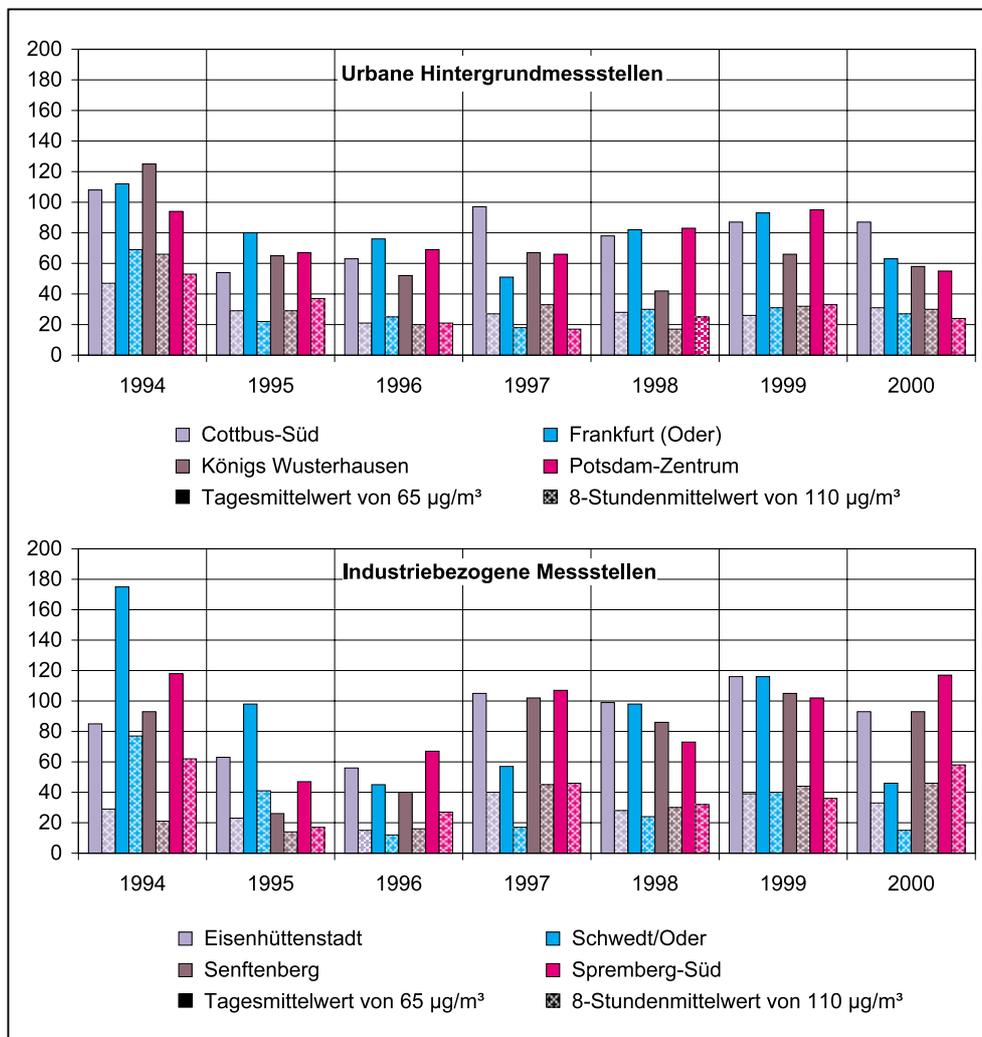


Abb. 3.14: Anzahl der Tage mit Überschreitungen von Schwellenwerten für Ozon

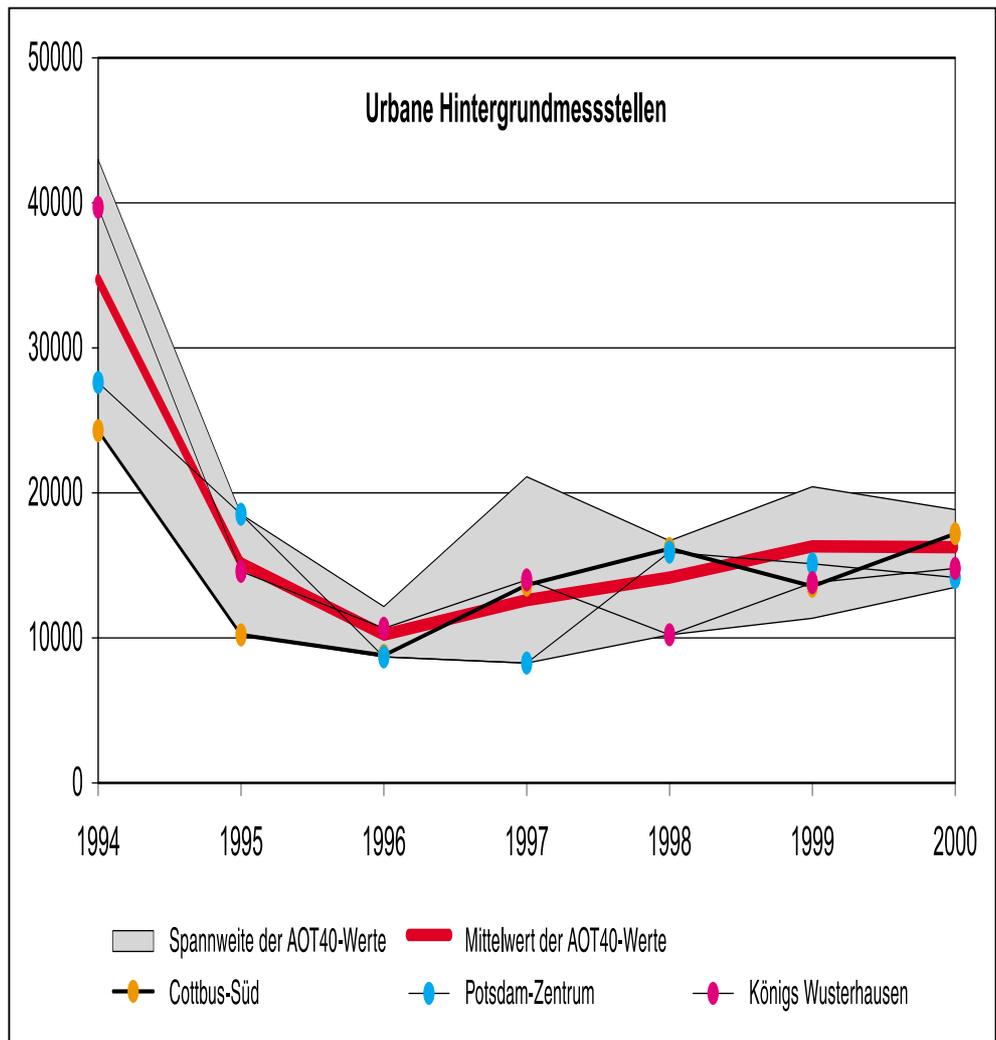


Abb. 3.15:
AOT 40-Werte an Messstellen
im Land Brandenburg

Abbildung 3.14 zeigt, dass die Überschreitungshäufigkeit des $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwellenwertes und des $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwellenwertes keinen Trend aufweist. Überschreitungen waren in beachtlichem Umfang im gesamten Messzeitraum zu verzeichnen. Der $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwellenwert wurde 1994 an allen Messstellen mit einer Häufigkeit zwischen 1 und 23 Tagen überschritten, 1996 nicht an allen Messstellen und nur bis zu einer Häufigkeit von 7 Tagen, im Jahr 2000 nur noch an einigen Messstellen und bis zu einer Häufigkeit von 4 Tagen. Der $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwellenwert wurde in Brandenburg noch nie überschritten. Der $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwellenwert zum Schutz der Vegetation wurde im gesamten Messzeitraum flächendeckend übertroffen. Die AOT 40-Werte wurden seit 1994 teilweise unterschritten, teilweise überschritten (Abb. 3.15). Ein offenkundiger systematischer Belastungsunterschied zwischen ruralen Hintergrundmessstellen, urbanen Hintergrundmessstellen und industriebezogenen Messstellen war bei den Jahresmittelwerten und den AOT 40-Werten in den letzten Jahren nicht mehr feststellbar. Hinsichtlich der Überschreitungshäufigkeiten von Schwellenwerten lagen die industriebezogenen Messstellen in den letzten Jahren überwiegend über denen der urbanen Messstellen.

3.2.1.4 Kohlenmonoxid und Schwefelwasserstoff

Die **CO-Immission** war im Mittel im Jahr 2000 im Vergleich zum Jahr 1991 an den industriebezogenen Messstellen auf 63 % gesunken, an den urbanen auf 44 %. Insbesondere bis Mitte der 90er Jahre war die Immission an den urbanen Hintergrundmessstellen vergleichsweise hoch, was – analog der Situation beim SO_2 – auf den überwiegenden Einsatz von Braunkohle für die Wärmeversorgung der Haushalte sowie mittelbar auf den zwischenzeitlich stark zurückgegangenen 2-Takter-Pkw-Anteil zurückzuführen ist.

Die windrichtungsabhängigen Analysen der CO-Immissionen in Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. zeigen, dass im Zeitraum

1995/96 sowohl bei den Langzeitkenngößen als auch bei den Kurzzeitkenngößen ein beachtenswerter Eintrag aus dem Herkunftssektor Polen zu verzeichnen war. In Eisenhüttenstadt wurde dieser Einfluss durch die industriellen Emittenten in dieser Stadt etwas maskiert.

1999/2000 ein beachtenswerter Beitrag aus der Richtung Polen nicht mehr festgestellt werden konnte.

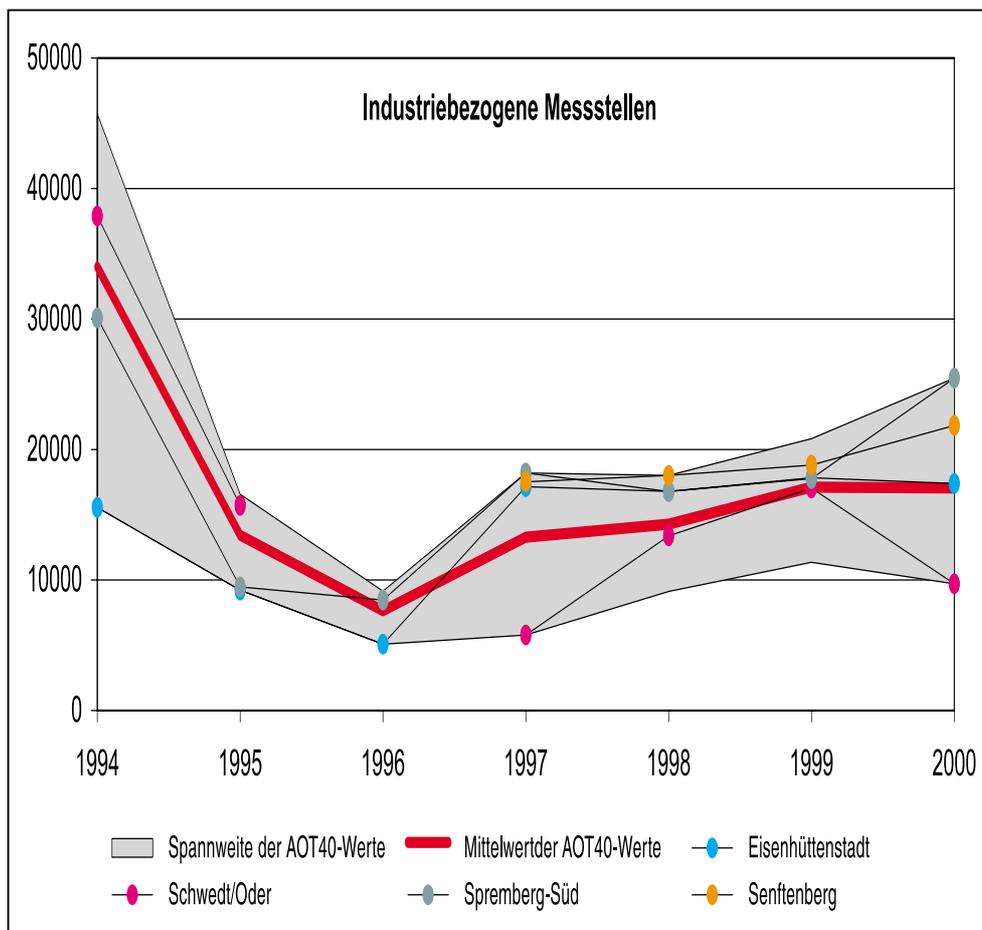


Abb. 3.15a: Immissionsentwicklung Kohlenmonoxid (I1-Kenngrößen in µg/m³) im Land Brandenburg

Die thermische Kohleveredelung (Schwarze Pumpe, Lauchhammer), Viskosebetriebe (Wittenberge und Premnitz), Bandstahlproduktion in Eisenhüttenstadt und andere industrielle Anlagen, aber auch der flächendeckende Einsatz von Braunkohle im Hausbrand, Tierhaltungs- und Abwasseranlagen führten noch im Zeitraum um 1989 in Brandenburg zu sehr hohen H₂S-Immissionen. So wurden z.B. folgende Immissionskenngrößen festgestellt:

	Zeitpunkt	I1	I2
Cottbus	1988	2 µg/m ²	12 µg/m ²
Frankfurt (O.)	1988	2 µg/m ²	5 µg/m ²
Lauchhammer	1987-1989	3 bis 4 µg/m ²	10 bis 20 µg/m ²
Spremberg	1988/89	3 µg/m ²	12 bis 16 µg/m ²
Wittenberge	1987-1989	5 bis 9 µg/m ²	47 bis 87 µg/m ²

Der Leitwert der WHO (abgestellt auf Geruchsbelästigung) beträgt als Mittelwert über eine halbe Stunde 7 µg/m³ [82]. 1991 erreichte in Cottbus die I1-Kenngröße 5 µg/m² und die I2-Kenngröße 16 µg/m³. Die Entwicklung der H₂S-Immission an industriebezogenen Messstellen seit Mitte der 90er Jahre zeigt nachstehende Übersicht (I1, I2 in µg/m³).

	1994		2000	
	I1	I2	I1	I2
Eisenhüttenstadt	2	7	1	4
Premnitz	3	25	2	12
Schwedt/O.	2	9	1	2

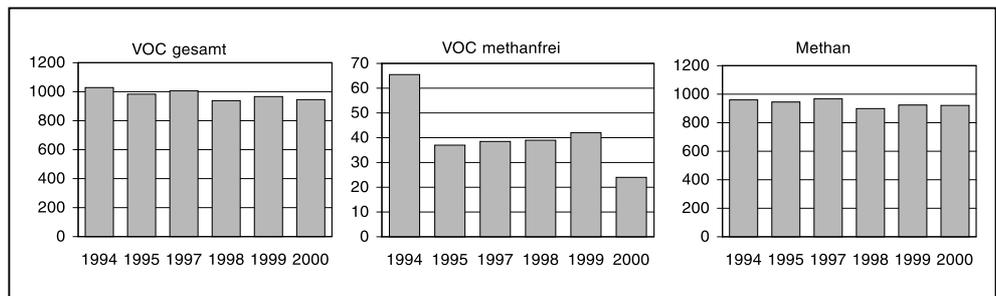
Die Tatsache, dass an der Messstelle Premnitz im Jahr 2000 noch mit einer Häufigkeit von 4 % der belästigungsrelevante WHO-Leitwert überschritten wurde, lässt erahnen, in welchem Maße im Zeitraum um die Wende die Bürger zumindest im Umfeld der großen industriellen H₂S-Quellen Geruchsbelästigungen ausgesetzt waren. In quellfernen urbanen Gebieten liegt die H₂S-Immission (I1) gegenwärtig unterhalb von 1 µg/m³.

3.2.2 Leicht flüchtige Kohlenwasserstoffe

Mit der Erfassung der Immissionen leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe (VOC) wurde in größerem Umfang erst Mitte der 90er Jahre begonnen. In größerer stofflicher Breite und an einer größeren Zahl von Orten wurden VOC vor allem im Rahmen von Rastermessungen erfasst. Mittels Pegelmessungen wurden zu meist Benzol, Toluol und Xylol (BTX-Aromaten) sowie die Summe organischer Verbindungen untersucht. Daraus resultiert, dass nur wenige mehrjährige Messreihen existieren. Der verfügbare Datenfundus erlaubt daher im Allgemeinen keine belastbaren zeitlichen und räumlichen Trendeinschätzungen.

Die längste Messreihe für die **Summe flüchtiger organischer Verbindungen** existiert für die industriebezogene Messstelle Schwedt/O. (Abb. 3.16). Sie zeigt eine nur sehr schwach sinkende Tendenz, für die methanfreien VOC seit 1995 dagegen eine schwach steigende Tendenz. Analoge Messungen in Cottbus, Potsdam und Senftenberg im Zeitraum 1994 bis 1997 erbrachten dagegen für die Gesamtheit der VOC nur annuelle Schwankungen, aber keine Tendenz, während für die methanfreien VOC meist sinkende Immissionen festgestellt wurden [16].

Abb. 3.16:
Entwicklung der Jahresmittelwerte der VOC-Immissionen an der Messstelle Schwedt/O. (Angaben in $\mu\text{g C}/\text{m}^3$)



Im Rahmen der Rastermessungen wurden bis zu 67 verschiedene organische Stoffe erfasst. In Abbildung 3.17 wird eine Auswahl der Messergebnisse vorgestellt, die wegen der Befundhöhe in Hinblick auf humantoxische und andere Wirkungen von besonderem Interesse sind.

n-Pentan wird durch Kraftfahrzeuge mit Otto-Motor (Abgas, Benzinverdunstung) und bei der Anwendung als Lösungs- und Schäumungsmittel emittiert. Die festgestellten Immissionen sind humantoxikologisch unbedeutend. Bemerkenswert ist die Halbierung der Immission innerhalb von vier Jahren in Schwedt/O. und die große Spannweite der Befunde; letzteres deutet auf die Existenz größerer lokaler Emittenten hin.

Eine maßgebliche ubiquitäre Hexanquelle stellt die Verdunstung von Benzin dar. Gemessen am üblichen städtischen Niveau zeigen die festgestellten **n-Hexan**-Immissionen einzelner Messstellen deutliche Überhöhungen.

Heptane sind Bestandteile von Erdölprodukten, aber auch der etherischen Öle einiger Kiefern. Die **n-Heptan**-Befunde sind im Vergleich zu den der vorstehenden Paraffinen klein, da der Kraftfahrzeugverkehr hier relativ bedeutungslos ist.

1989 wurden mittels Rastermessungen in Spremberg ($24 \mu\text{g}/\text{m}^3$) und in Lauchhammer ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) noch extrem hohe **Benzol**-Jahresmittelwerte infolge der Emissionen aus der Braunkohlenent- und -vergasung festgestellt [16]. Selbst in Städten ohne maßgebliche industrielle Quellen lagen zu Beginn des Untersuchungszeitraumes als Messnetzmittel 11-Kenngrößen noch bei $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Luckau (1990) oder $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Cottbus (1992) [16]. Nach 1995 wurde der Zielwert zur Begrenzung des Krebsrisikos durch Luftschadstoffe von $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [83] nur noch in Einzelfällen überschritten. Der EU-Grenzwert von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [81] wird außerhalb sehr stark belasteter Straßen gegenwärtig und wahrscheinlich auch zukünftig sicher unterschritten. Abgesehen von der Stilllegung signifikanter industrieller Quellen resultierten ab 1991 die Minderungen im Allgemeinen aus dem wachsenden Katalysatoreinsatz bei Kraftfahrzeugen. Hinzuweisen ist auch darauf, dass der Benzol-Gehalt der Kraftstoffe aus der Raffinerie Schwedt/O. deutlich unter dem anderer Produzenten lag, so dass auch die Benzol-Emission aus der Benzin-Verdunstung geringer war.

Die zeitliche Entwicklung der **Toluol**-Immissionen und die Ursachen dieser Entwicklung sind weitgehend mit denen für Benzol identisch: 1989 wurden in Spremberg 67 (53 - 77) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und in Lauchhammer 51 (39 - 64) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, 1990 in Luckau 23 (19 - 30) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 1992 in Cottbus 11 (5 - 21) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Für Toluol befindet sich ein Jahresgrenzwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der Diskussion [84]; dieser Wert wird seit 1992 nicht mehr überschritten und seit Ende der 90er Jahre meist nur noch bis etwa 15 % ausgeschöpft.

Die **Xylol**-Immissionen rekrutieren sich – analog zu Toluol – aus der Verwendung in Motorkraftstoffen und als Lösungsmittel. 1992 wurden in Cottbus noch 11 (4 - 21) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in Senftenberg 9 (8 - 10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und in Guben 5 (4 - 6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, 1996 wurde in Cottbus als Messnetzmittel $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt (alle Angaben gelten für die Summe aller Xylole). Der Zielwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [84] wurde somit nicht überschritten und in den letzten Jahren um etwa eine Größenordnung unterschritten.

1,2,4-Trimethylbenzol wird insbesondere als Lösungsmittel ubiquitär emittiert, trotzdem zeigten sich zwischen den Messnetzen und auch innerhalb der jeweiligen Messnetze große Streubereiche der Befunde, was auf relativ dominante Einzelquellen schließen lässt. Das festgestellte Niveau war bundesweit anzutreffen, es ist humantoxikologisch unauffällig.

Ogleich – wie bereits erwähnt – der Einsatz von **Trichlormethan** als Lösungsmittel durch die 2. BImSchV [18] weitgehend eingeschränkt wurde, sind Trichlormethan-Immissionen noch immer sicher nachweisbar. Es kommt weiter als Zwischenprodukt in der chemischen Industrie zum Einsatz, entsteht durch photochemische Prozesse in der Atmosphäre und wird als Deponiegas und aus den Ozeanen freigesetzt.

Auch der Einsatz von **Tetrachlormethan** wurde als Lösungsmittel durch die 2. BImSchV weitgehend eingeschränkt, und zudem sind biogene Quellen unbekannt. Tetrachlormethan ist trotzdem noch immer sicher nachweisbar, da es eine große Persistenz besitzt.

Tetrachlorethen unterliegt keinen Einsatzbeschränkungen und ist als universelles Lösungsmittel (Reinigung, Druckfarben, Extraktion) ubiquitär verbreitet. Es wird gegenwärtig ein Jahres-Immissionswert zum Schutz der menschlichen Gesundheit von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diskutiert [85]. Die festgestellten Immissionen liegen also deutlich unter dem Limitierungsvorschlag.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auch die VOC-Immissionen seit 1991 im Land Brandenburg gesunken sind, bei einigen Stoffen sogar um eine Größenordnung. Ein regionaler Gradient (z.B. Nord-Süd-Gefälle) ist hinsichtlich der VOC-Immissionen nicht erkennbar, da

- ein hoher Anteil der Emissionen ubiquitärer Natur ist, verursacht durch Straßenverkehr, Gewerbe, Haushalte und natürlichen Quellen,
- die Quellhöhen und die Höhe der Emissionen der wenigen industriellen Emittenten nicht ausreichen, um nachweisbare Immissionsfelder großer Flächenausdehnung (500 km^2) zu erzeugen.

AB Neuruppin

Oranienburg 93

Wittenberge 95

AB Schwedt/Oder

Bernau 94

Eberswalde-Finow 95

Prenzlau 96

Schwedt/Oder 95

Schwedt/Oder 99

AB Brandenb. a.d.H.

Brandenburg a.d.H. 96

Potsdam 93

Potsdam 98/99

Teltow/Kleinm/Stahns 94

AB Frankfurt

Bad Freienwalde 97/98

Eisenhüttenstadt 94

Frankfurt (Oder) 95

Fürstenwalde 95

Strausberg 96

AB Wünsdorf

Königs Wusterh 93

Luckenwalde 95

Ludwigsfelde 94

AB Cottbus

Cottbus 96

Elsterwerda 99

Forst 98

Lauchhammer 94

Spremberg 95

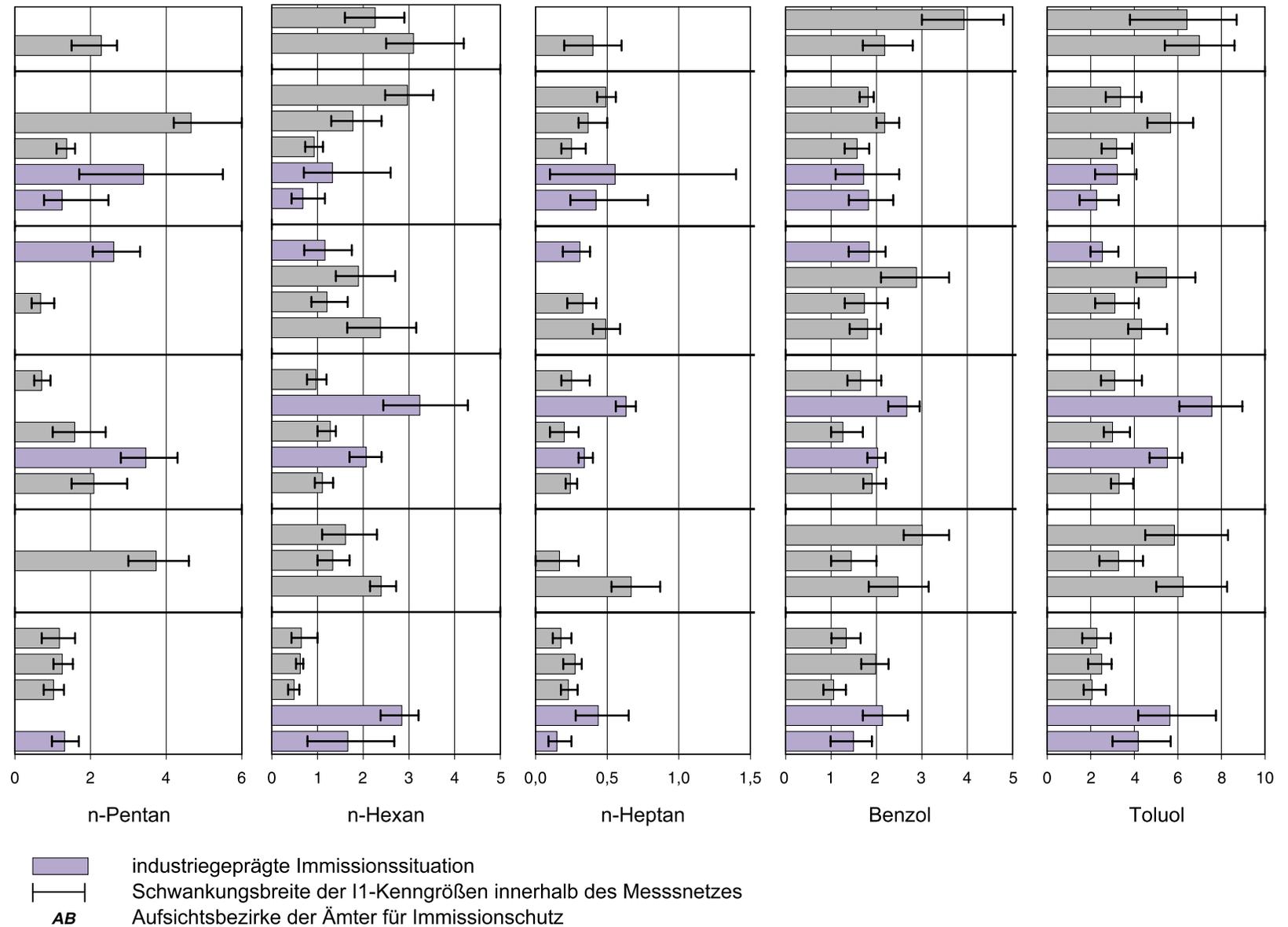


Abb. 3.17a: I1-Immissionskenngrößen leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe ausgewählter Rastermessungen (Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

AB Neuruppin

Oranienburg 93

Wittenberge 95

AB Schwedt/Oder

Bernau 94

Eberswalde-Finow 95

Prenzlau 96

Schwedt/Oder 95

Schwedt/Oder 99

AB Brandenb. a.d.H.

Brandenburg a.d.H. 96

Potsdam 93

Potsdam 98/99

Teltow/Kleinm./Stahns 94

AB Frankfurt

Bad Freienwalde 97/98

Eisenhüttenstadt 94

Frankfurt (Oder) 95

Fürstenwalde 95

Strausberg 96

AB Wünsdorf

Königs Wusterh 93

Luckenwalde 95

Ludwigsfelde 94

AB Cottbus

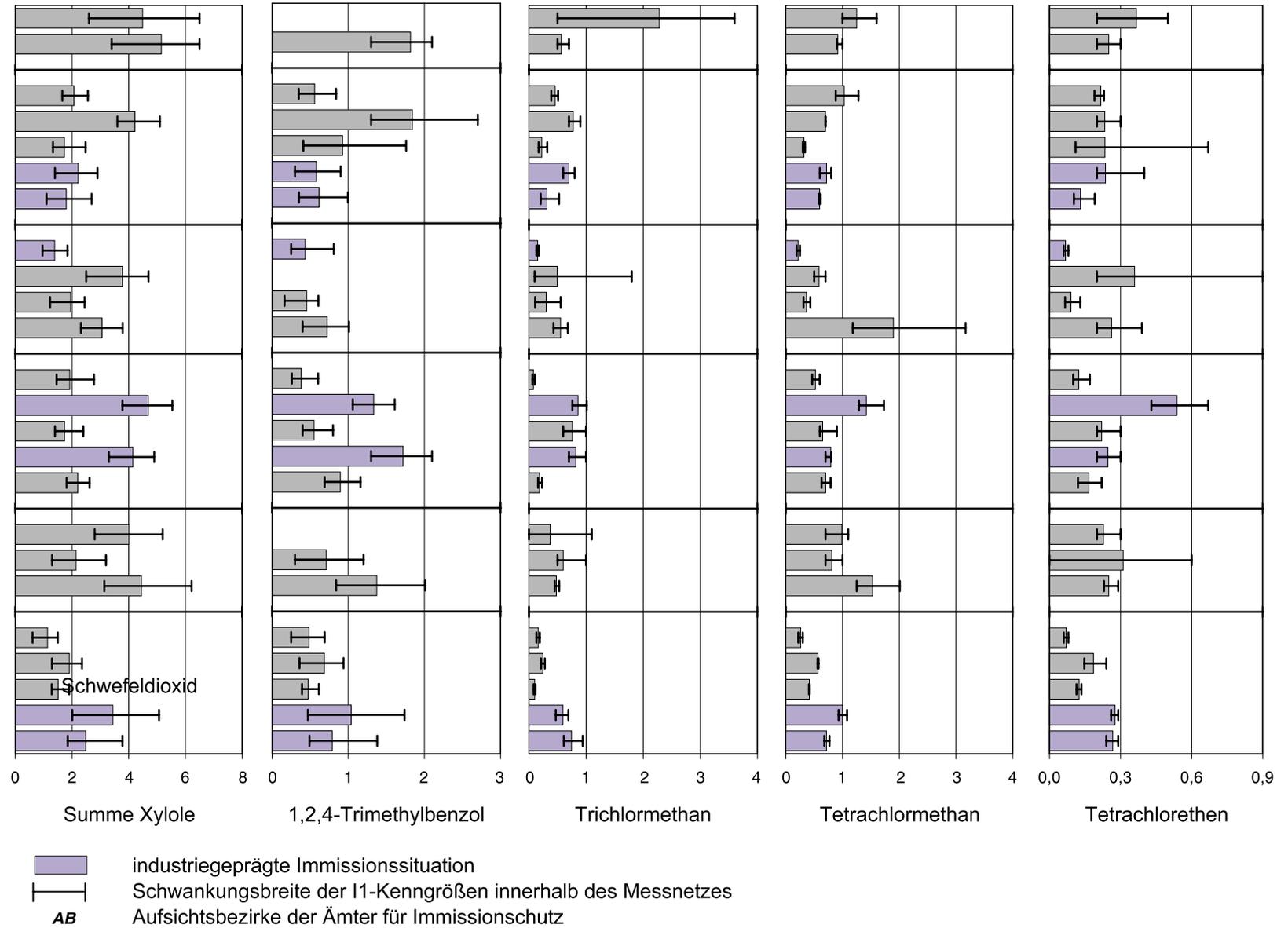
Cottbus 96

Elsterwerda 99

Forst 98

Lauchhammer 94

Spremberg 95

Abb. 3.17b: I1-Immissionskenngrößen leicht flüchtiger Kohlenwasserstoffe ausgewählter Rastermessungen (Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

3.2.3 Schwebstaub

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich – soweit nichts anderes vermerkt – auf Befunde, die mittels nichtfraktionierender Messverfahren gewonnen wurden (TSP – total suspended particulate matter).

3.2.3.1 Gesamtstaub

Die vorgestellten Gesamtstaubbefunde (Abb. 3.18 und 3.19) wurden mittels kontinuierlicher automatischer Staubmessgeräte nach dem Prinzip der Beta-Strahlen-Absorption gewonnen, die Staub unterhalb eines aerodynamischen Durchmessers von 30 µm sicher erfassen.

Im landesweiten Mittel waren 1989 die Schwebstaubimmissionen urbaner Hintergrundmessstellen (68 µg/m³) und industriebezogener Messstellen (67 µg/m³) praktisch gleich. 1991 betrug das Mittel urbaner Hintergrundmessstellen 46 µg/m³, das der industriebezogenen Messstellen 59 µg/m³. Ab 1998 waren die Mittel beider Messstellengruppen wiederum praktisch gleich. Die Immission war im Jahr 2000 im Vergleich zu 1989 bei beiden Gruppen auf 1/3 gesunken, im Vergleich zu 1991 bei den urbanen Hintergrundmessstellen auf 52 % und bei den industriebezogenen Messstellen auf 37 %. An den ruralen Hintergrundmessstellen reduzierte sich die Schwebstaubimmission gegenüber 1991 im Mittel auf 53 %. Die Befunde ruraler Hintergrundmessstellen lagen sowohl 1991 als auch im Jahr 2000 bei etwa 75 % der Befunde urbaner Hintergrundmessstellen. Da immer noch weitgehend unbekannt ist, welche Anteile der Schwebstaubimmission sich aus natürlichen Quellen rekrutieren und welche aus Gasphasenreaktionen stammen, sind die Vergleiche zwischen den Hintergrundmessstellen nicht quantifizierend interpretierbar. Nach [75 (1997)] ist „ein großer Teil der gegen Ende des Berichtszeitraumes gemessenen Konzentrationen, die etwa um 20 µg/m³ liegen, natürlichen Ursprungs“. Während die räumliche Verteilung der Schwebstaubimmissionen (Abb. 3.19) im Jahr 1994 noch offenkundig Unterschiede zwischen den ländlichen Regionen im Norden Brandenburgs und den Zentren höherer industrieller Emissionen aufwies (Abb. 2.4), waren gegen Ende des Berichtszeitraumes diese Unterschiede weitgehend nivelliert.

Ende der 80er Jahre/Anfang 90er Jahre lag in den alten Bundesländern die Schwebstaubimmission (I1) fast flächendeckend um bzw. unter 30 µg/m³ [75 (1997)]. Gegen Ende des Berichtszeitraumes waren zwischen den alten und den neuen Bundesländern auf einem Niveau unter 30 µg/m³ keine wesentlichen Unterschiede mehr erkennbar. Analog zu den Verhältnissen bei SO₂ war auch beim Schwebstaub zwischen den Immissionen in den Großstädten Brandenburgs und Städten unter 50.000 Einwohner kein systematischer Unterschied feststellbar.

Die windrichtungsabhängigen Auswertungen der Befunde der Messstellen Eisenhüttenstadt und Schwedt/O. zeigen, dass

1995/96 eine geringe Immissionserhöhung bei Winden aus dem Herkunftssektor Polen sowohl hinsichtlich der Kurzzeit- als auch der Jahresmittelbefunde zu verzeichnen war.

ab 1999 eine solche Beeinflussung mit Ausnahme der Dosis weiterhin gegeben war.

Die Abbildung 3.18 belegt, dass der IW1-Wert von 150 µg/m³ im gesamten Berichtszeitraum an allen Messstellen nicht überschritten wurde. Auch die im vorliegenden Bericht nicht vorgestellten I2-Befunde haben die Grenzwerte für die Kurzzeitbelastung eingehalten.

Die EU-Richtlinie [8] stellt die zukünftige Immissionsbegrenzung auf fraktionierende Staubprobenahme (PM10; particulate matter ≤10 µm) ab. Die erste Grenzwertstufe für das PM10-Jahresmittel von 40 µg/m³ wurde im Jahr 2000 von keiner städtischen oder ländlichen Hintergrundmessstelle und von keiner industriebezogenen Messstelle überschritten.

3.2.3.2 Spurenstoffgehalt

Der Schwebstaub verkehrsferner Messstellen wurde teilweise auf Spurenstoffgehalt untersucht.



Geöffnetes automatisches Probenahmegerät für Schwebstaub

Die Abbildungen 3.21 und 3.22 zeigen die ermittelten I1-Kenngrößen für einige besonders wichtige Schadstoffe; es wurden bis zu 15 verschiedene anorganische und 10 organische Spurenstoffe analysiert.

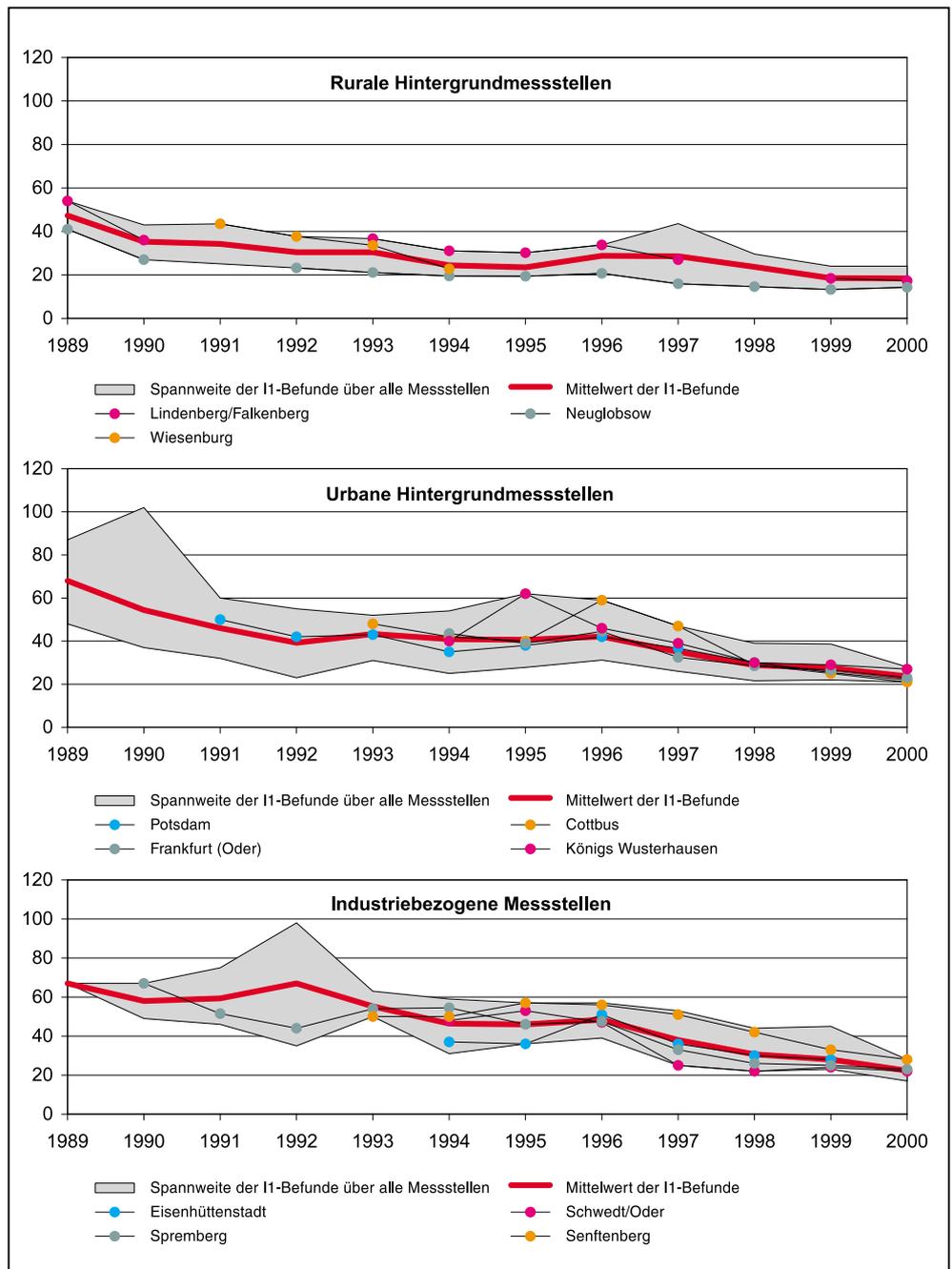


Abb. 3.18:
Immissionsentwicklung
Schwebstaub (I1-Kenngrößen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) im Land Brandenburg

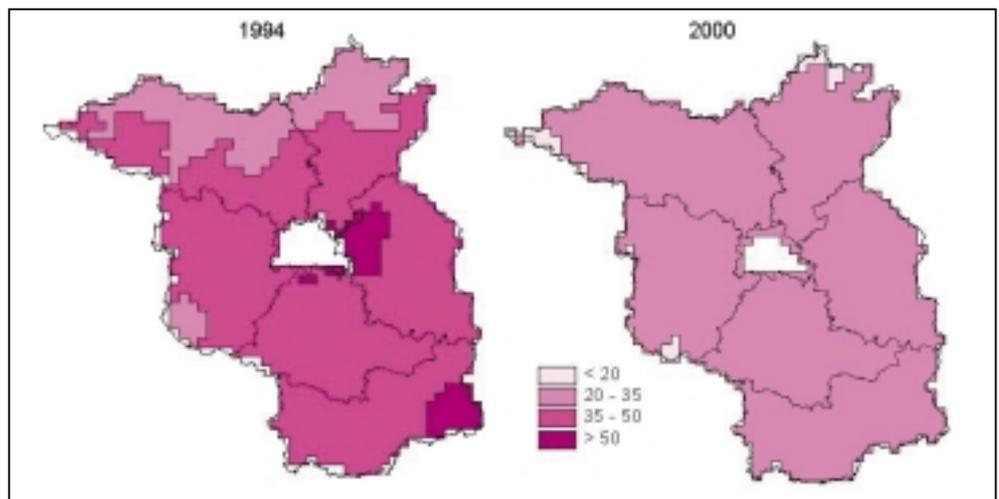


Abb. 3.19:
Räumliche Immissionsverteilung
Schwebstaub im Land
Brandenburg in den Jahren
1994 und 2000 (Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

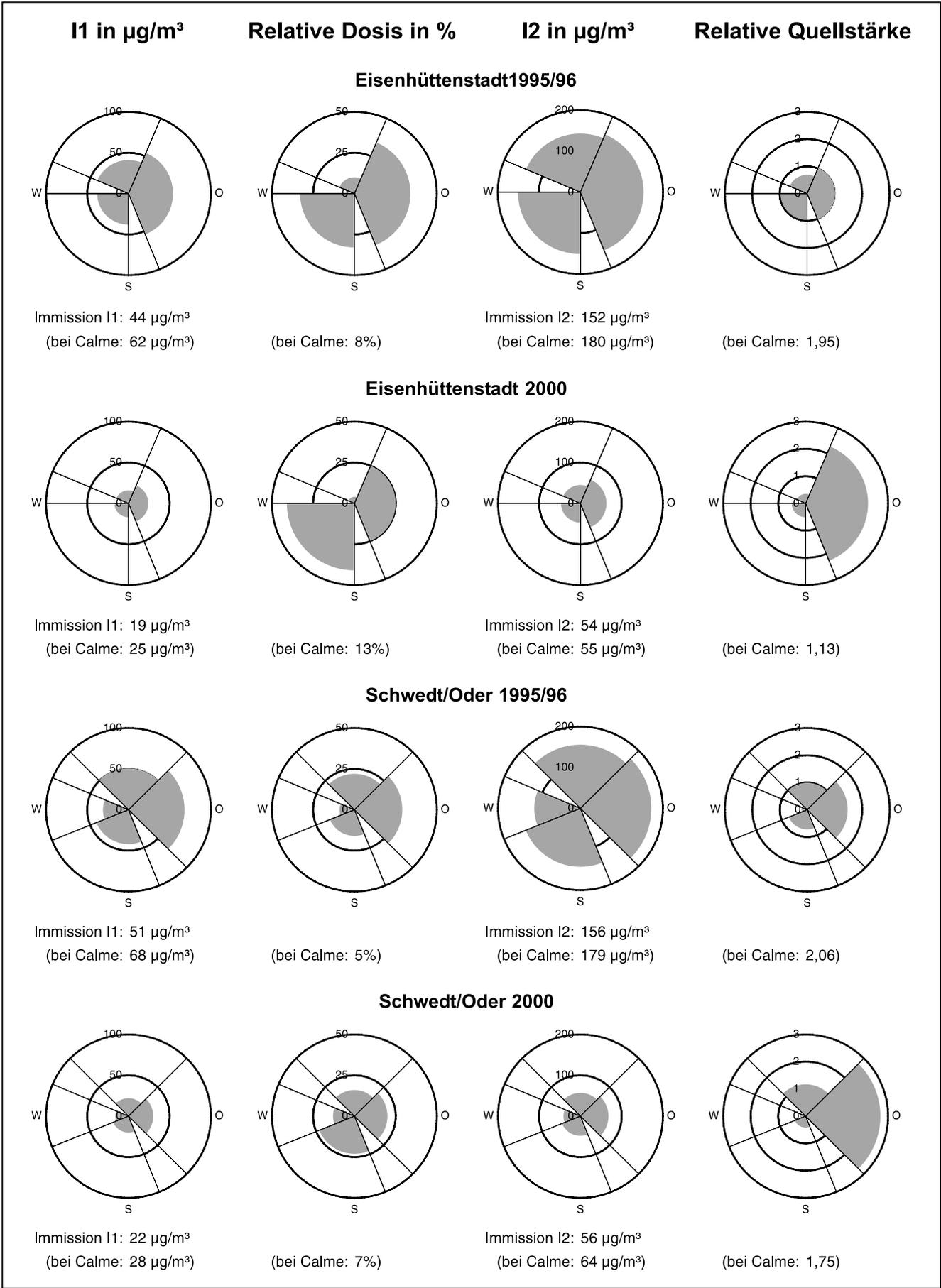
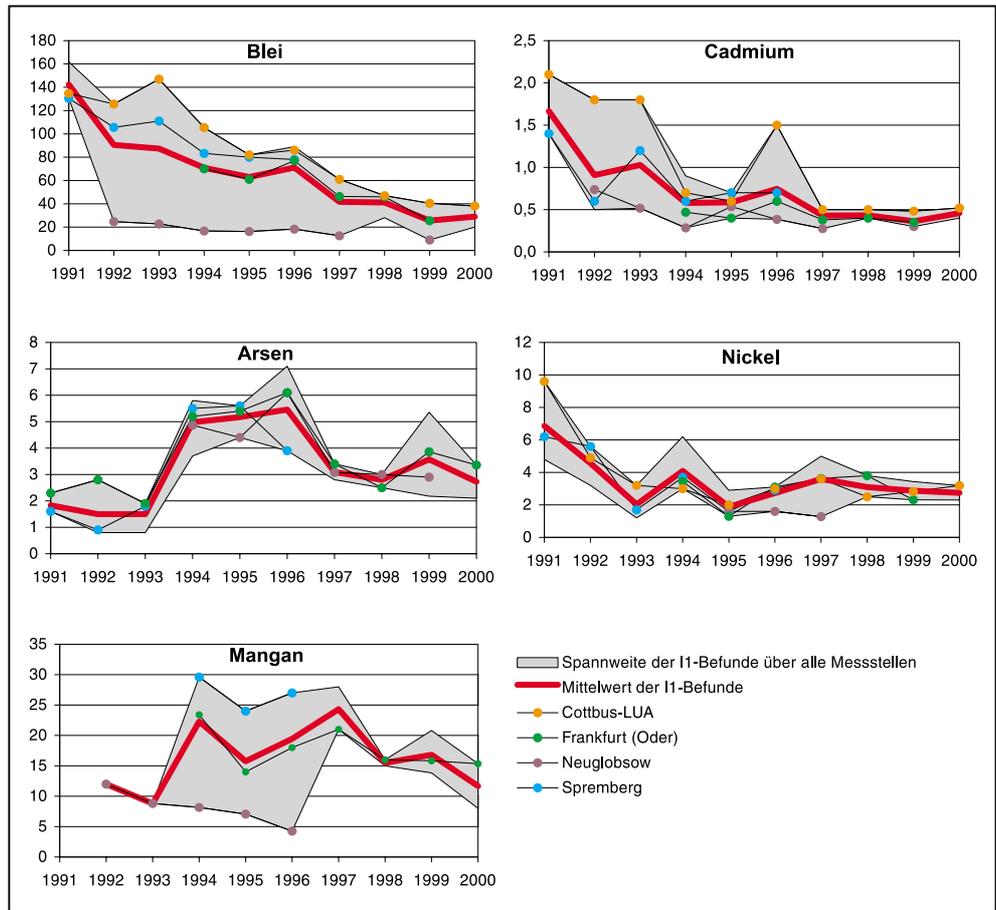


Abb. 3.20: Windrichtungsabhängige Schwebstaub-Befunde

Abb. 3.21:
Entwicklung des anorganischen
Spurenstoffgehaltes im
Schwebstaub im Land Branden-
burg (Angaben in ng/m³)



Trotz erheblicher annueller Schwankungen ist seit 1994 bei den **anorganischen Spurenstoffen** (Metalle und Halbmetalle) eine leichte Abnahme der Immissionen feststellbar. Im Immissionsschutz werden Metalle und Halbmetalle vereinfacht häufig unter dem Oberbegriff „Schwermetalle“ subsumiert; dieser Oberbegriff wird nachfolgend auch gebraucht. Da der Stichprobenumfang vor 1994 sehr klein blieb, waren diese frühen Mittelwerte und Spannweiten nicht repräsentativ. Die Befunde der Messstelle Neuglobsow charakterisieren die Background-Situation des Landes. Auch verkehrserne Messstellen partizipierten von der Minderung des Einsatzes verbleiten Benzins; daher war bei Blei-Immissionen die Reduzierung am deutlichsten.

Mitte bis Ende der 80er Jahre wurden im Umfeld industrieller Emittenten hohe I1-Immissionen festgestellt [10]. Als Beispiele seien genannt:

Stahlwerk Hennigsdorf: Blei 240 bis 360 ng/m³
Cadmium 30 bis 100 ng/m³
Chrom 30 bis 40 ng/m³

Glaswerk Döbern: Blei 88 bis 376 ng/m³
Cadmium 2 bis 31 ng/m³
Arsen 48 bis 69 ng/m³.

Im Mittel wurden in den alten Bundesländern folgende Immissionen festgestellt [75 (2000)]:

	1985	1991	1999
Blei	42 ng/m ³	20 ng/m ³	10 ng/m ³
Cadmium	0,95 ng/m ³	0,41 ng/m ³	0,16 ng/m ³

Der Vergleich zeigt, dass bei Blei und Cadmium die Immissionen in Brandenburg zumindest punktuell stark erhöht waren.

Grenzwerte bzw. in Diskussion befindliche Immissionsbegrenzungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit liegen für Metalle und Halbmetalle im Schwebstaub in unterschiedlicher Verbindlichkeit vor:

Blei:	2 µg/m ³	(Grenzwert) [77]
	0,5 µg/m ³	(Grenzwert ab 2005) [8]
Cadmium:	40 ng/m ³	(Grenzwert) [12]
	1,7 ng/m ³	(Zielwert) [83]
	4,2 ng/m ³	(Orientierungswert) [83]
Arsen:	5 ng/m ³	(Zielwert) [83]
	13 ng/m ³	(Orientierungswert) [83]
Mangan:	15 ng/m ³	(Leitwert) [86]
Nickel:	10 ng/m ³	(Diskussionswert)

Ziel- und Orientierungswerte sind keine Grenzwerte. Sie dienen lediglich der Entscheidung über Maßnahmen zur Luftreinhaltung, insbesondere der Entscheidung, welche Stoffe vorrangig vermindert werden müssen. Die Beurteilungsmaßstäbe zur Begrenzung des Krebsrisikos [83] dienen in diesem Sinne der Beurteilung der von einzelnen Emittenten ausgehenden cancerogenen Luftverunreinigungen und Handlungskonzepten zur Senkung der Belastung in Ballungsräumen. Das Handlungskonzept zur generellen Senkung der Immissionen in Ballungsgebieten soll den Unterschied zwischen dem Krebsrisiko in den Ballungsgebieten und in den ländlichen Gebieten deutlich mindern, ohne jedoch den Fortbestand von Industrie und Verkehr in Frage zu stellen. Es stellt auf ein Gesamtrisiko von 1:2 500

ab, der dazugehörige Beurteilungsmaßstab wird Zielwert genannt. Beurteilungsmaßstäbe auf der Basis eines Gesamtrisikos von 1:1 000 können lediglich Verbesserungen in Emittenten-nähe oder im Bereich hoch belasteter Straßen erreichen, sie werden Orientierungswerte genannt. Ziel- und Orientierungswerte gelten für eine lebenslange gleichzeitige Einwirkung von sieben verschiedenen cancerogenen Stoffen und tragen den Charakter von Gebietsdurchschnittswerten [83].

Leitwerte sind als Anforderungen an eine gute Luftqualität zu charakterisieren. Ein Rechtsanspruch auf die Einhaltung von Leitwerten ist nicht gegeben.

Der Vergleich mit den Messbefunden (Abb. 3.21) zeigt, dass seit 1997 – mit Ausnahme des Zielwertes für Arsen – keine der vorstehenden Begrenzungen überschritten wurde. Auch bei anderen (hier nicht dargestellten) Schwermetallen wurden in den letzten Jahren keine Überschreitungen von Immissionslimitierungen festgestellt. Die Kupfer-, Beryllium- und Titan-Befunde städtischer Messstellen bewegten sich in Brandenburg im oberen Bereich üblicher Befunde, jedoch ohne ein gesundheitsrelevantes Niveau auch nur annähernd zu erreichen.

Das Routinemessprogramm zur Erfassung des Gehaltes an **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)** umfasste folgende Stoffe:

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| Benz(a)anthracen | Benzo(k)fluoranthen |
| Benzo(a)pyren | Chrysen |
| Benzo(b)fluoranthen | Fluoranthen |
| Benzo(e)pyren | Indeno(1,2,3-cd)pyren |
| Benzo(ghi)perylen | Pyren |

Die in Abbildung 3.22 dargestellte Summe PAK umfasst die vorstehenden Verbindungen.

Die Abbildung 3.22 zeigt, dass im Berichtszeitraum in Brandenburg die PAK-Immission erheblich gesunken ist. Die PAK-Immission verkehrsferner Räume resultiert überwiegend aus der Nutzung von Braunkohle in häuslichen Feuerstätten und aus der Verfrachtung von Verkehrsemissionen. Benzo(a)pyren wird vor allem durch den Hausbrand emittiert. Der Zielwert für Benzo(a)pyren zur Begrenzung des Krebsrisikos beträgt $1,3 \text{ ng/m}^3$, der Orientierungswert $3,2 \text{ ng/m}^3$ [83]. Der Zielwert wurde bis 1998 an einigen Messstellen überschritten, der Orientierungswert dagegen im vorgestellten Zeitraum an allen Messstellen eingehalten. Aus der Überschreitung des Zielwertes ist nicht zwangsläufig eine Gesundheitsgefahr abzuleiten. Das in der Abbildung 3.22 mit aufgeführte Benzo(ghi)perylen ist vor allem verkehrs-, aber auch hausbrandbedingt, Pyren ist ubiquitärer Genese.

Vor allem die kohleheizungsbedingten PAK (z. B. Benzo(a)pyren, Benzo(e)pyren) lagen im Vergleich zu den alten Bundesländern etwas höher. Die PAK-Belastung in den neuen Ländern lag im Allgemeinen auch noch gegen Ende des Berichtszeitraumes über der der alten Bundesländer.

3.2.4 Luftverunreinigungsindex

Um eine zusammenfassende Bewertung mehrerer simultan einwirkender Luftschadstoffe zu ermöglichen, wurden für die Messstellen, an denen SO_2 , Schwebstaub, NO_2 und Ozon kontinuierlich erfasst wurden, aus den 11-Immissionskenngrößen so genannte Luftverunreinigungsindizes nach folgender Beziehung berechnet:

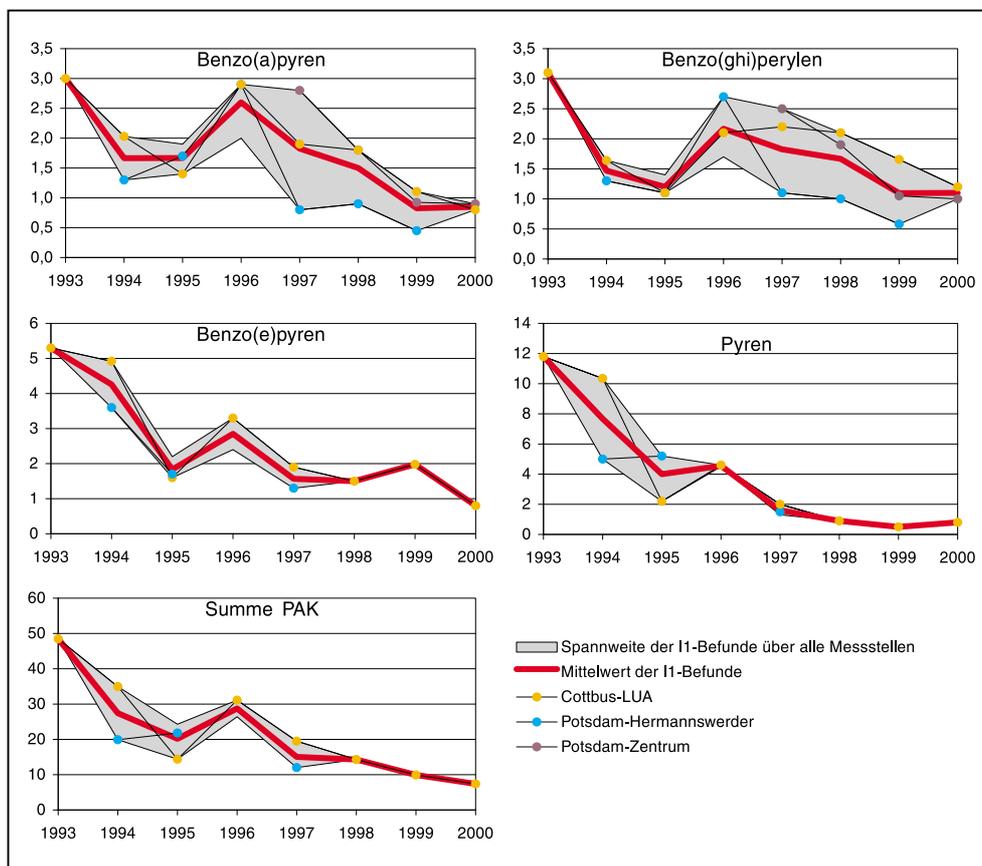


Abb. 3.22: Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) im Schwebstaub im Land Brandenburg (Angaben in ng/m^3)

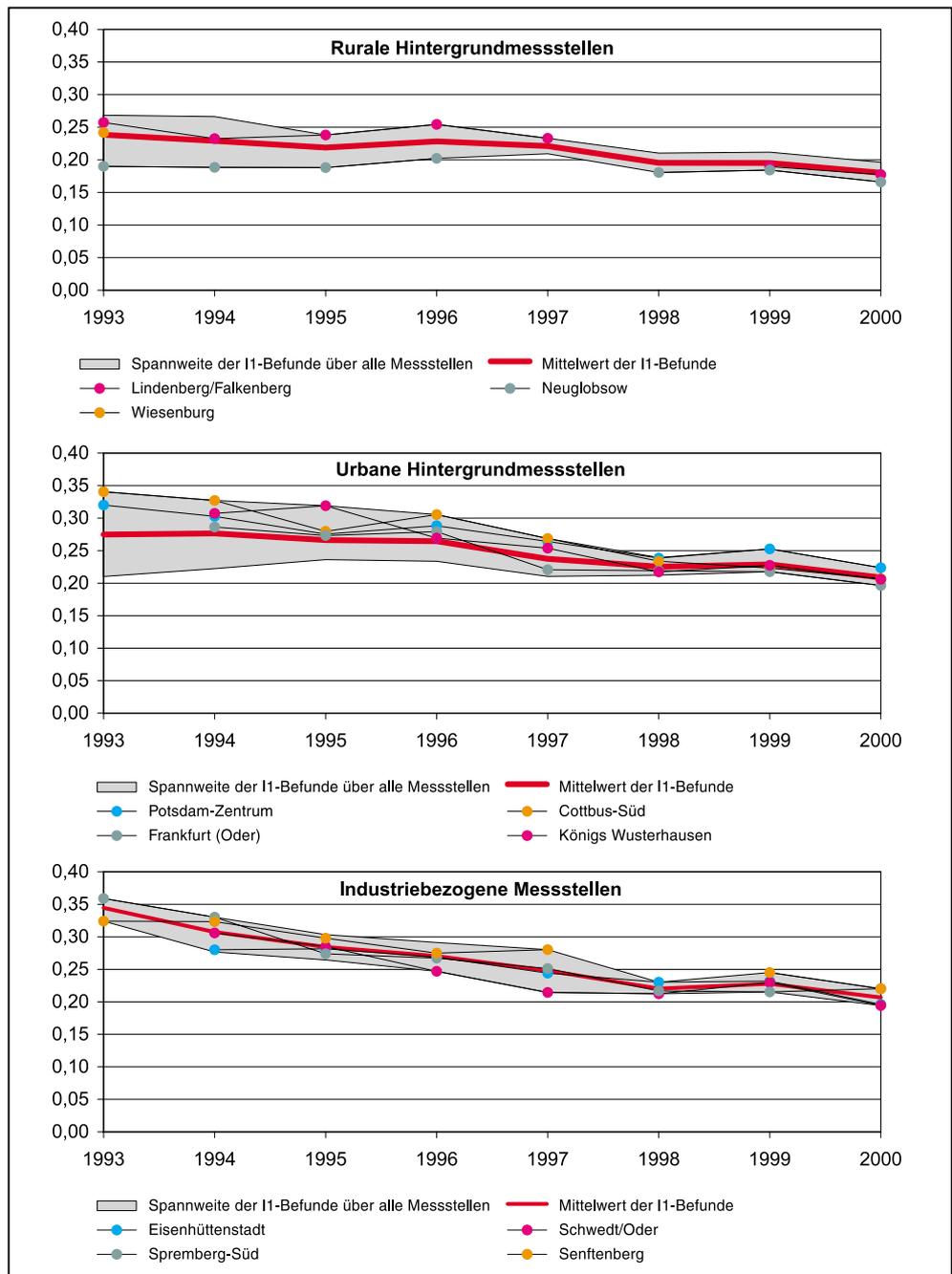


Abb. 3.23:
Entwicklung des Luftverunreinigungsindex im Land Brandenburg

$$I_L = 0,25 \sum_{i=1}^4 (I_i/B_i)$$

mit I_L - Luftverunreinigungsindex
 I_i - Immissionskenngroße für den Stoff i
 B_i - IW1 für den Stoff i.

Da es für Ozon keinen IW1-Wert gibt, wurden für diesen Schadstoff 110 µg/m³ (Schwellenwert bei gleitender 8-Stunden-Mittelwertbildung [77]) als Bezugswert gewählt. Die bonitierende Interpretation der I_L -Werte erfolgt anhand nachstehender Staffelung [88]:

Luftverunreinigung	I_L	I_L	I_L
Sehr niedrige Luftverunreinigung		I_L	$\leq 0,10$
Niedrige Luftverunreinigung	0,10	<	I_L
Mittlere Luftverunreinigung	0,25	<	I_L
Leicht erhöhte Luftverunreinigung	0,60	<	I_L
Erhöhte Luftverunreinigung	0,70	<	I_L
Hohe Luftverunreinigung	0,90	<	I_L

Sowohl an den Hintergrundmessstellen als auch an den industriebezogenen Messstellen ist im Mittel der Luftverunreinigungsindex gesunken (Abb. 3.23). Da die Ozonbefunde bereits im Jahr 1993 die Höhe der Luftverunreinigungsindizes dominierten und deren Spannweite relativ klein war (Abb. 3.11), ist auch die Spannweite der Luftverunreinigungsindizes relativ klein. Im Vergleich zu 1993 (100 %) hat sich der Mittelwert der Luftverunreinigungsindizes bis zum Jahr 2000 wie folgt entwickelt:

- Rurale Hintergrundmessstellen auf 75 %
- Urbane Hintergrundmessstellen auf 76 %
- Industriebezogene Messstellen auf 60 %.

Im Jahre 2000 lag der mittlere Index bei urbanen Hintergrundmessstellen und industriebezogenen Messstellen praktisch in gleicher Höhe. Ab 1998 war die Luftverunreinigungssituation an allen Messstellen als „niedrig“ zu charakterisieren;

zu Beginn des Berichtszeitraumes wäre sie im Mittel – mit Ausnahme ruraler Messstellen – wahrscheinlich als „mittel“ zu bezeichnen gewesen, in Einzelfällen als „erhöht“.

Die unerwartet geringen Minderungen des Luftverunreinigungsindex im Laufe des Berichtszeitraumes sind der dominierenden Rolle des Ozons geschuldet.

3.2.5 Staubbiederschlag

Ergebnisse von Staubbiederschlagsmessungen können im Einzelfall durch lokale Besonderheiten oder durch Einzelereignisse derart überprägt sein, dass sie nur kleinräumig repräsentativ sind; das gilt sowohl für extrem hohe Befunde als auch für extrem niedrige Befunde. Damit solche Extrema die Aussagen zur allgemeinen Entwicklung nicht erheblich verfälschen, bleiben derartige Messstellen/Befunde in den Abbildungen 3.24 und 3.26 unberücksichtigt. Es werden in jeder Jahresscheibe bei den Angaben der Spannweite der Jahresmittelwerte und des Mittelwertes 5 % der niedrigsten und 5 % der höchsten Jahresmittelwerte ausgeschlossen; der Rest wird nachfolgend als „repräsentative Messstellen“ bezeichnet. Analog zur bisherigen Darstellungsweise im vorliegenden Bericht werden in den Abbildungen 3.24 und 3.26 auch einige charakteristische Messstellen vorgestellt.

Die Entwicklung und die räumliche Verteilung des Staubbiederschlags und seiner Spurenstoffe sind sehr facettenreich. Diese Details und die Gesamtheit aller unterschiedlichen Spurenstoffe sind im Rahmen des vorliegenden Berichtes nicht dar-

stellbar; sie können einem gesonderten Bericht [73] entnommen werden.

Abbildung 3.23a vermittelt einen Eindruck von der Lage der Staubbiederschlagsmesspunkte im Land Brandenburg im Jahr 1999. Das Messnetz unterlag im Berichtszeitraum vielen Veränderungen.

3.2.5.1 Gesamtstaub

Die Staubbiederschlag-Immissionssituation ist den Abbildungen 3.24 und 3.25 zu entnehmen.

Die mittlere Staubbiederschlagsbelastung aller repräsentativen Messstellen in Brandenburg ist im Zeitraum 1991 bis 2000 auf 27 % gesunken. Die Immissionssenkung ist deutlich geringer als die Senkung der Staubbiederschlagsstationärer Anlagen und des Straßenverkehrs (siehe Abschnitt 2.2), da insbesondere natürliche Emissionen einen beachtlichen Beitrag zum Staubbiederschlagsangebot liefern. In den letzten Jahren des Berichtszeitraumes lag der „natürliche“ Staubbiederschlag in der Größenordnung von 0,03 g/(m² · d) (Jahresmittelwert) [73]. Dieser Staubbiederschlag resultierte vor allem aus Resuspensionen, natürlichen Quellen und dem Schadstofftransport. Resuspensionen führen insbesondere im Sommer und bei anhaltender Trockenheit zu größeren Staubbiederschlagsbefunden.

Durch den Wegfall oder die Sanierung dominierender Emittenten ist die Spannweite der I1-Kenngrößen zwischen den einzelnen Messstellen gegen Ende des Berichtszeitraumes wesentlich geringer geworden.

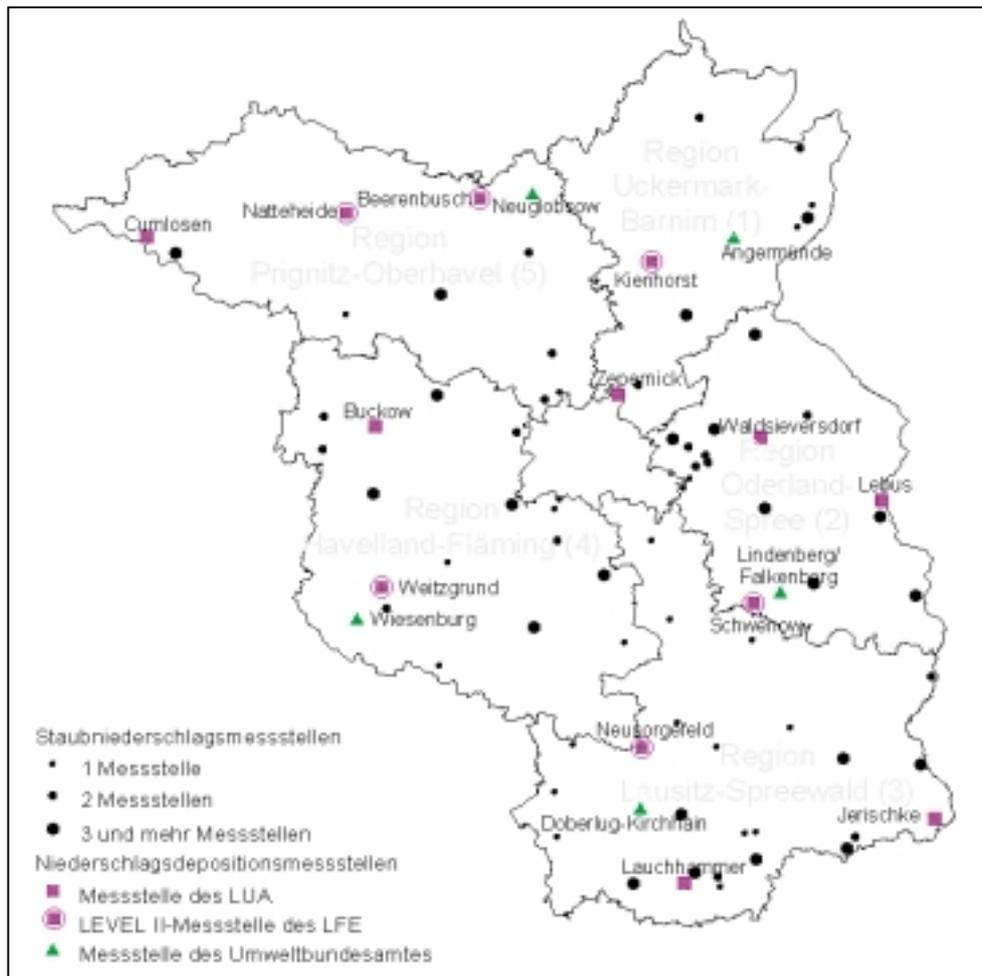


Abb. 3.23a: Staubbiederschlags- und Niederschlagsdepositionsmessstellen im Land Brandenburg 1999

Abb. 3.24:
Entwicklung der I1-Kenngrößen aller repräsentativen Staubbefunde (mg/(m²·d)) im Land Brandenburg

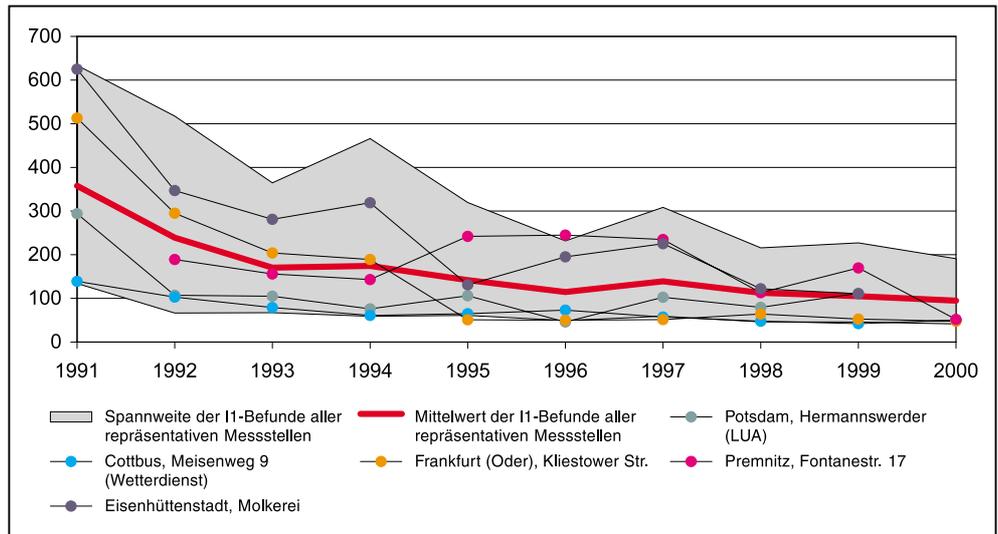
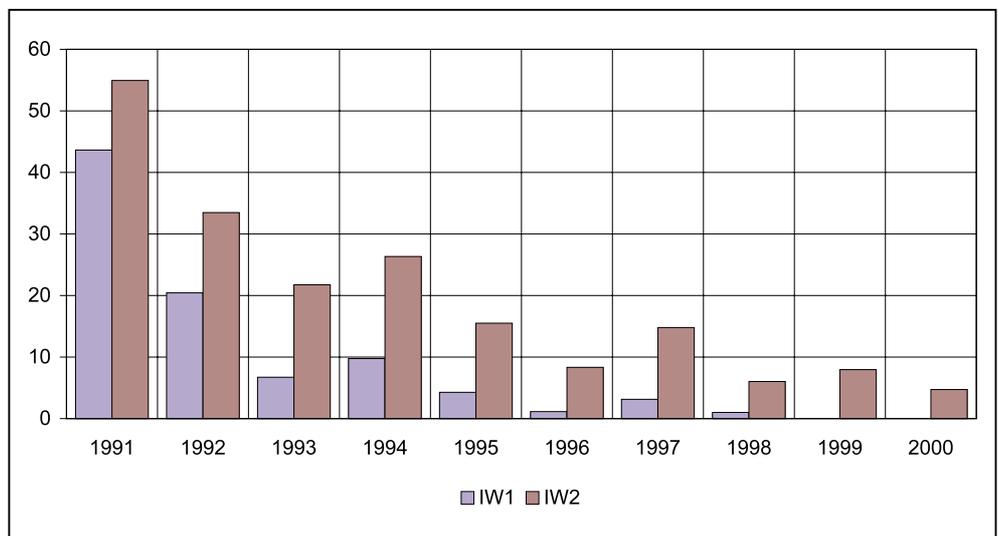


Abb. 3.25:
Anteil aller Staubbefundmessstellen mit Überschreitung der Immissionswerte im Land Brandenburg (Angaben in %)



In der Vorwendezeit bewegte sich die Staubbefundbelastung in Brandenburg je nach Lage der Messstelle zwischen 0,1 und 3 g/(m²·d), im Mittel aller Messstellen in der Größenordnung von 0,5 g/(m²·d) [10, 73]. Genauere Aussagen sind hierzu nicht möglich, da sich die Messmethode in der DDR [10] erheblich von der heutigen Standardmethode [69] unterschied. Die Abschätzung ist das Ergebnis einer approximativen Umrechnung der Befunde nach der DDR-Methodik auf Befunde bei Anwendung der BERGERHOFF-Methode. Abbildung 3.25 zeigt, dass die Überschreitung der zulässigen Immissionswerte zum Schutz vor erheblichen Nachteilen und Belästigungen [12] (Jahresmittelwert (IW1)=0,35 g/(m²·d), Monatsmittelwert (IW2)=0,65 g/(m²·d)) zu Beginn des Berichtszeitraumes erheblich war und gegen Ende des Berichtszeitraumes fast bedeutungslos wurde. Seit Mitte der 90er Jahre blieben regionale Unterschiede der Staubbefundbelastung marginal.

Der Vergleich der Befunde Brandenburgs mit denen anderer Bundesländer zeigt, dass

- im Zeitraum 1991/1992 in den alten Bundesländern eine Belastung von etwa 1/3 und weniger zu verzeichnen war. In den an Brandenburg angrenzenden neuen Bundesländern bewegte sie sich etwa im gleichen Niveau (Sachsen-Anhalt) oder bis etwa um a darunter.

- im Zeitraum 1994/1995 in den alten Bundesländern im Vergleich zu Brandenburg die mittleren I1-Kenngrößen in etwa gleicher Höhe ermittelt wurden. Auch die mittleren I1-Kenngrößen in den an Brandenburg angrenzenden Bundesländern bewegten sich auf etwa gleichem Niveau.
- im Zeitraum nach 1997 die mittleren I1-Kenngrößen in Brandenburg von einigen alten Bundesländern überschritten und von anderen unterschritten wurden; Gleiches gilt für die angrenzenden neuen Bundesländer [73].

3.2.5.2 Spurenstoffgehalt

Abbildung 3.26 zeigt für einige humanmedizinisch und ökologisch wichtige Schwermetalle die Entwicklung der Einträge in die Umwelt über den Staubbefund.

Im Zeitraum nach 1993 lagen die Blei-Befunde Brandenburgs im gleichen Niveau wie die der anderen Bundesländer. Während seit Mitte der 90er Jahre innerhalb Brandenburgs nur noch geringe regionale Belastungsunterschiede festgestellt wurden, hoben sich die Standorte der Metallurgie und der Bleiglasproduktion bis etwa 1993 noch deutlich vom übrigen Territorium ab. Der gegenwärtig zulässige Immissionswert für Blei beträgt 0,25 mg/(m²·d) [12]; er soll nach [85] auf 100 µg/(m²·d)

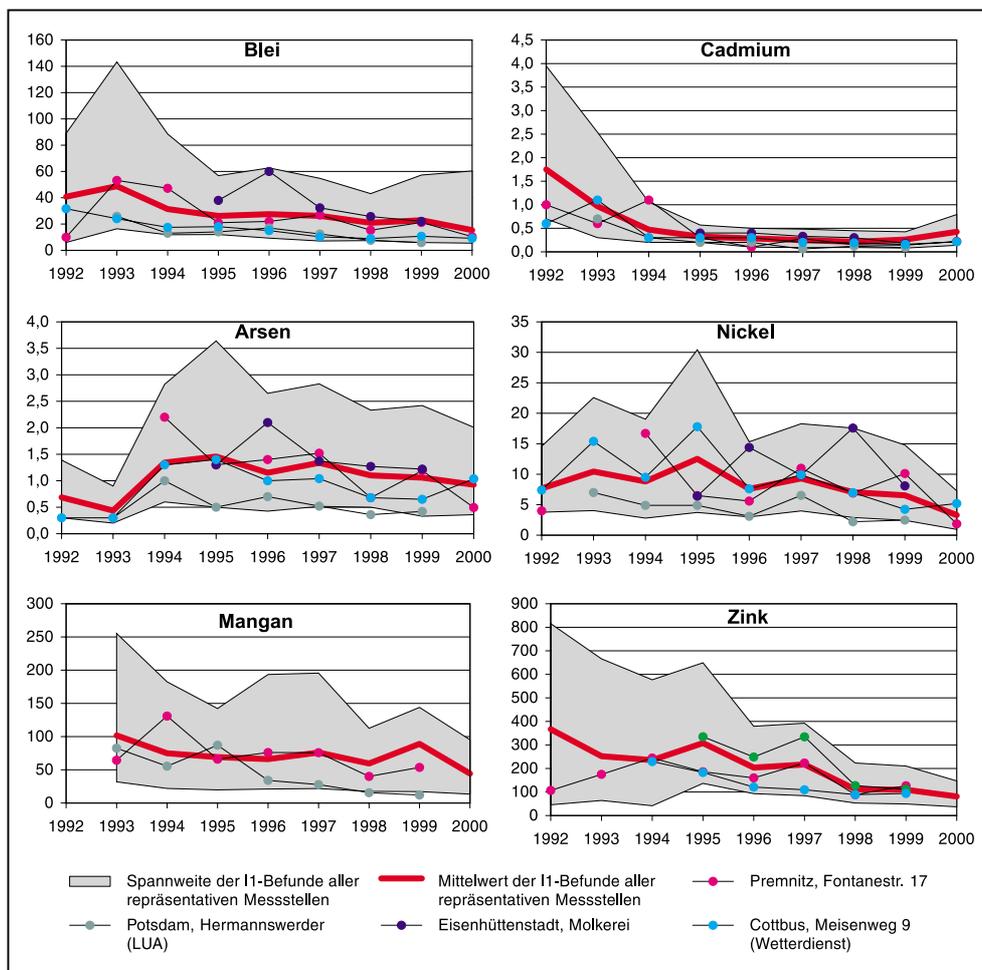


Abb. 3.26:
Entwicklung des Spurenstoff-
gehaltes im Staubbiederschlag
aller repräsentativen Mess-
stellen im Land Brandenburg
(Angaben in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)

gesenkt werden. Der gegenwärtig zulässige Immissionswert wurde im dargestellten Zeitraum nur an zwei Messstellen überschritten (außerhalb der repräsentativen Darstellungsgrenze der Abbildung 3.26). Die $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ -Grenze wurde in den letzten Jahren ebenfalls nur an wenigen Messstellen überschritten, die zumeist im direkten Einflussbereich gewerblicher Emittenten lagen. Im Jahr 2000 trat keine Überschreitung auf.

Die **Arsen**-Befunde Brandenburgs bewegten sich im Niveau anderer Bundesländer. Abbildung 3.26 zeigt nach 1993 einen deutlichen Anstieg der Arsen-Befunde. Diese Entwicklung wurde bundesweit festgestellt, ohne dass dafür eine tragfähige Begründung gegeben werden konnte. Seit Ende der 90er Jahre ist ein Rückgang der Belastung erkennbar, die zumeist der Entwicklung des Staubbiederschlagdargebotes folgt. Im landesweiten Vergleich wurden in Südbrandenburg höhere Belastungen festgestellt. Es gibt Indizien dafür, dass die Überhöhung aus der Resuspension von Emissionen der Braunkohlenkraftwerke und der Bleiindustrie in der Vergangenheit resultierte [73].

Gemessen an der in Diskussion befindlichen Limitierung des Arsen-Jahresmittelwertes in Höhe von $4 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ [85] wurden im Berichtszeitraum einzelne Überschreitungen (außerhalb der repräsentativen Darstellungsgrenze der Abbildung 3.26) festgestellt; im Jahr 2000 wurde keine einzige Überschreitung ermittelt.

Abbildung 3.26 zeigt, dass etwa seit 1997 die **Cadmium**-Befunde auf gleich niedrigem Niveau lagen. Abgesehen vom direkten Einflussbereich einiger weniger Einzelemitter waren die re-

gionalen Unterschiede innerhalb Brandenburgs unbedeutend. Der gegenwärtig gültige Immissionswert ($5 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) [12] wurde im Berichtszeitraum nur in Einzelfällen überschritten. Der diskutierte Immissionswert von $2,0 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ [85] wurde im Jahr 2000 an keiner einzigen Messstelle überschritten.

Die **Mangan**-Befunde zeigten im Landesmittel seit 1994 nur eine schwach sinkende Tendenz, wobei deutlich unterschiedliche Entwicklungen an den einzelnen Messstellen und eine relativ große Spannweite der Befunde der einzelnen Messstellen auffallen. Höhere Werte wurden vor allem in den Kerngebieten der metallurgischen und metallverarbeitenden Industrie festgestellt, wobei wahrscheinlich Resuspensionen aus Altlasten die zeitliche Entwicklung und die räumliche Verteilung prägten. Grenzwerte für Mangan-Niederschlag gibt es nicht.

Im bundesweiten Vergleich waren die Messergebnisse bei **Nickel** in Brandenburg relativ hoch; auch zeigten sich große regionale Unterschiede innerhalb Brandenburgs. Bis Mitte der 90er Jahre wurden in Südbrandenburg auffällig hohe Befunde festgestellt. Die allgemeine zeitliche Tendenz einer im Zeitraum 1992 bis 1998 im Landesmittel schwach sinkenden Belastung wird durch größere annuelle Schwankungen an den einzelnen Messstellen maskiert. Als Immissionsgrenzwert werden $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ diskutiert [85]. Während 1995 noch 30 % aller Messstellen diese Begrenzung überschritten, wurden im Jahr 2000 keine Überschreitungen mehr gemessen.

Während in den Anfangsjahren des Untersuchungszeitraumes die **Zink**-Befunde zwischen den einzelnen Messstellen auf meist

höherem Niveau stark variierten, wurde seit 1998 nur noch eine relativ kleine Streubreite beobachtet; auch größere regionale Unterschiede innerhalb Brandenburgs waren nicht mehr vorhanden. Grenzwerte für den Zink-Niederschlag gibt es nicht.

3.2.6 Niederschlagsdeposition

Die Summe aus trockenen sedimentierenden Partikeln und der nassen Deposition (Deposition von Regen und Schnee mit gelösten und ungelösten Inhaltsstoffen) wird als Niederschlagsdeposition bezeichnet [89]. Die Messergebnisse der Niederschlagsdeposition und des Staubniederschlages sind, selbst an gleichen Standorten, nicht identisch, da sich Probenahmetechnik und Analytik teilweise grundlegend unterscheiden [73]. Für die Erfassung der Niederschlagsdeposition kommen zwei verschiedene Grundtypen von Probenahmegeräten zum Einsatz: Bulk-Sammler haben eine ständig offene Auffangfläche, die Sammelergebnisse repräsentieren in guter Näherung die Niederschlagsdeposition. Im Unterschied dazu ist bei Wet-only-Geräten die Auffangfläche nur während der Niederschlagsereignisse geöffnet. Die trocken-partikulären Bestandteile der Deposition werden hiermit im Allgemeinen nicht erfasst, d.h. nur die nasse Deposition wird in guter Näherung gemessen.



Messfeld des Landesumweltamtes Brandenburg für Niederschlagsdepositionen und meteorologische Parameter in Lauchhammer

Die Niederschlagsdeposition ist insbesondere hinsichtlich der ökologischen Wirkungen und der Kontamination/Versauerung von Böden und Gewässern von wachsendem Interesse. Verbindliche Grenzwerte für Niederschlagsdepositionen in toto gibt es nicht. Als Beurteilungsmaßstab zum Schutz vor ökologischen Schäden dienen die Critical Loads. Sie quantifizieren die Gesamtdosition (Summe aus Niederschlagsdeposition, Impaktion von Nebel- und Wolkentropfen und Impaktion von trockenen Gasen und Aerosolen) eines oder mehrerer Schadstoffe derart, dass bei deren Unterschreitung keine schädigenden Wirkungen an spezifizierten Rezeptoren nachweisbar sind. Es gibt keine universellen Critical Loads, sondern nur schutzgutspezifische Beurteilungswerte, die außerdem durch Randbedingungen (z.B. Zusammensetzung des Bodens, Verwitterungsraten des Ausgangsgesteins, Stoffaustrag durch Sickerwasser oder gasförmig) stark überprägt sein können.

Für Brandenburg wurde für den überwiegenden Waldanteil ein Critical Load-Wert für eutrophierende Stickstoffeinträge unterhalb von 8 kgN/(ha · a) und für den Säureeintrag von 1.500 eq/(ha · a) (Ionenäquivalent pro Hektar und Jahr), für einen beachtlichen Anteil sogar unter 500 eq/(ha · a) ermittelt [90]. Die Lage der Niederschlagsdepositionsstellen im Jahr 1999 ist der Abbildung 3.23a zu entnehmen.

Da erst ab 1996 mit einer größeren Anzahl von Messstellen die Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg gemessen wurde (13 Bulk-Messstellen, sieben Wet-only-Messstellen), können die Ergebnisse erst ab diesem Zeitpunkt als repräsentativ gelten. Im Jahre 1993 wurden in Brandenburg nur eine Bulk-Messstelle und fünf Wet-only-Messstellen (UBA-Messstellen vor allem im Background-Niveau) betrieben; daher haben die gemittelten Befunde für den Zeitraum 1993 bis 1995 nur orientierenden Charakter.

Es werden nachfolgend fast ausschließlich die aus den gemessenen Niederschlagsdepositionen (Stoffkonzentrationen) resultierenden Jahresfrachten (Menge des Stoffeintrages pro Jahr und Hektar) vorgestellt, da sie die Einträge in Boden und Gewässer am besten quantifizieren. Da die Frachten auch durch die Niederschlagshöhe beeinflusst werden, zeigen sie stärkere annuelle Schwankungen als die Immissionskonzentrationen. Die Schadstoffkonzentration in den Niederschlägen und andere Details können einem gesonderten Bericht [73] entnommen werden.

3.2.6.1 Hauptinhaltsstoffe

Für die ökologisch wichtigsten Hauptinhaltsstoffe ist im Landesmittel die Minderung der Bulk-Frachten unter Einbeziehung der wenigen Bulk-Frachtdaten aus dem Zeitraum vor 1993, von 1991 bis 2000 wie folgt abzuschätzen:

- Schwefel auf unter 20 %,
- anorganisch gebundener Stickstoff auf etwa 70 %,
- Calcium auf unter 15 %.

Die festgestellte **Schwefel**-Fracht lag selbst in den letzten Jahren des Berichtszeitraumes im Landesmittel mit 4 bis 6 kg/(ha · a) noch immer in einem Bereich, der für die meisten Ökosysteme als kritisch eingeschätzt wird. In der Vorwendzeit wurden an der Bulk-Messstelle Lauchhammer Schwefeleinträge in einer Höhe von etwa 120 kg/(ha · a) (1987) bis 60 kg/(ha · a) (1990) ermittelt.

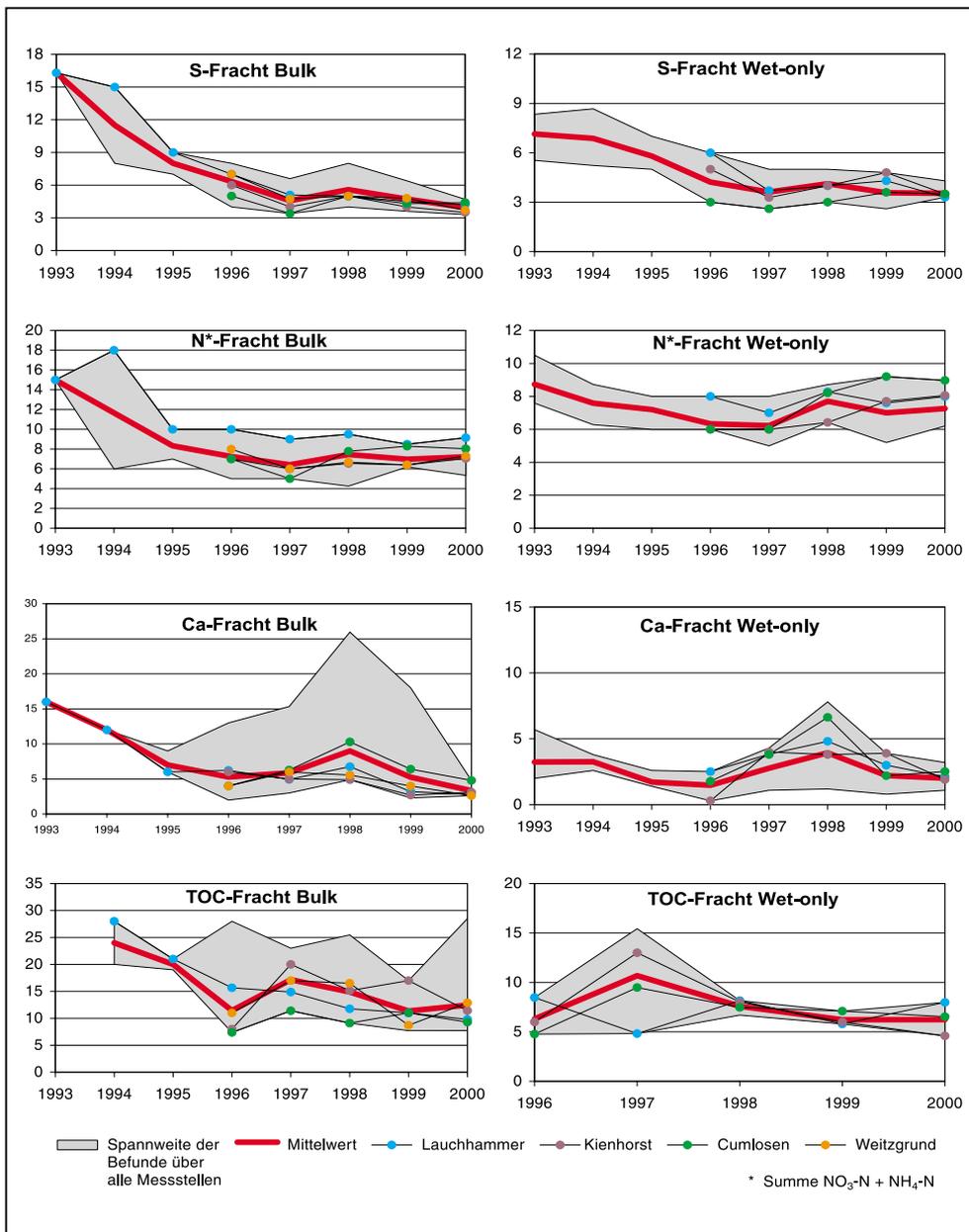


Abb. 3.27: Entwicklung der Jahresfrachten aller Messstellen im Land Brandenburg (Angaben in kg/ha)

Die Stickstoff-Fracht resultiert im Wesentlichen aus der Ammonium- und der Nitratfracht; reichlich die Hälfte der Stickstofffracht besteht aus Ammonium-Stickstoff. Da Ammonium im Boden weitgehend nitrifiziert wird, haben die festgestellten Ammonium-Frachten neben dem Nährstoffeintrag auch ein bodeninternes Versauerungspotential von 400 bis 800 eq/(ha · a) [73], das im Protonengehalt der zu analysierenden Niederschlagsproben noch nicht existiert und somit nicht gemessen wird. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Stickstoff-Gesamtdeposition selbst an Freilandstandorten noch deutlich über der der Bulk-Fracht liegt, da die Impaktion von trockenen Gasen und Aerosolen hier nicht erfasst wird. Es wird abgeschätzt, dass im Freiland die Stickstoff-Gesamtdeposition in den letzten Jahren in Brandenburg bei 9 bis 13 kg N/(ha · a) lag. Insbesondere für Waldgebiete, in denen die jährlichen Frachten noch bedeutend höher lagen, resultierte hieraus eine erhebliche Überschreitung der Critical-Loads-Werte, was eine wesentliche Stickstoff-Übersversorgung bedeutete.

Die Calcium-Fracht ist insbesondere im Hinblick auf ihr Pufferpotential von Interesse. Der starke Rückgang im Zeitraum 1991 bis etwa 1995 korrespondiert mit der Entwicklung der Staubemission (Abbildung 2.1) und Staubbiederschlagimmission (Abb. 3.24).

Dieser Rückgang führte trotz sinkender Sulfat- und Nitratgehalte zu einer leicht wachsenden Versauerung der Niederschläge nach 1991 bis Mitte der 90er Jahre (Abb. 3.28). Beispielsweise betrug 1990 und 1991 an der Bulk-Messstelle Lauchhammer der gewogene pH-Jahresmittelwert noch 6,0. In den letzten Jahren zeigte der pH-Wert wieder einen leichten Anstieg. Die Protonen-Frachten in den Bulk-Depositionen an Freilandmessstellen lagen in den letzten Jahren im Mittel bei 0,25 bis 0,35 keq / (ha · a). Der Gesamtprotoneneintrag in Wäldern überstieg trotzdem systematisch die Critical Loads (höhere Depositionen in Wäldern im Vergleich zum Freiland, Nitrifizierung von Ammonium, Trockendeposition von Gasen und Aerosolen). Allein die höhe-

re Protonen-Deposition im Wald im Vergleich zum Freiland lag beispielsweise in Kienhorst (gemessen am Protonenüberschuss bis pH 7,0) 1996 bei 250 %, 1998 bei 166 % und 1999 bei 206 %.

Die Frachten **organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC)** können insbesondere bei der Grundwasserneubildung qualitätsmindernd wirksam werden. Die Kohlenstoffrückgänge in der Deposition verliefen zwischen 1994 und 2000 bemerkenswerter-

weise in den gleichen Raten wie die Reduzierungen der Schwefel-deposition. Dies legt den Schluss nahe, dass der Hausbrand mit Braunkohle eine TOC-Quelle sein könnte. Auffällig ist auch, dass die festgestellten TOC-Frachten im Vergleich zu den Einzelsubstanzfrachten (Abschnitt 3.2.6.2) in Größenordnungen höher lagen. Damit könnte der Hauptbeitrag aus TOC-Substanzen mit hohem Molgewicht sowie kohlenstoffhaltigen Partikeln entstammen (Bulk-Befunde wesentlich höher als Wet-only-Befunde).

Abb. 3.28:
Entwicklung des pH-Wertes (gewogener Jahresmittelwert) aller Messstellen im Land Brandenburg

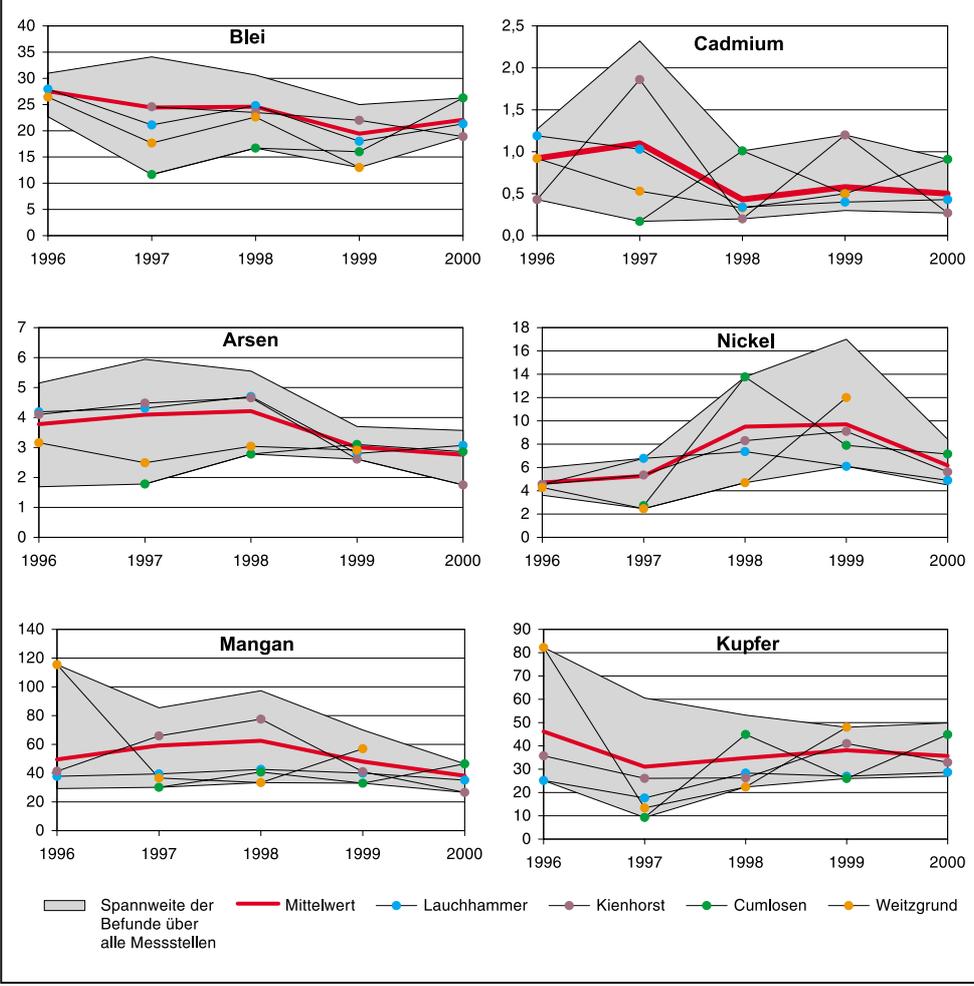
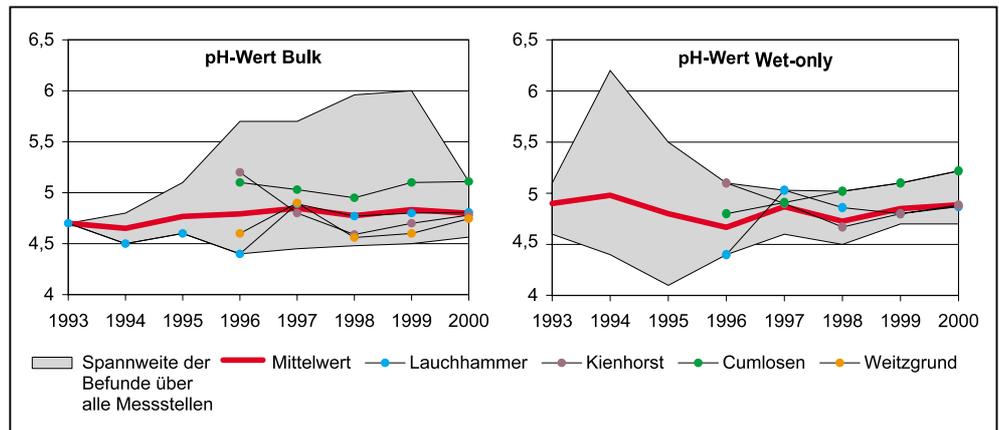


Abb. 3.29:
Entwicklung der Bulk-Gesamtfracht von Schwermetallen im Land Brandenburg (Angaben in g/ha)

3.2.6.2 Spurenstoffgehalt

Die methodischen Vorgaben der Richtlinie für die Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit [89] bedingen, dass die nachfolgend vorgestellten Frachten für **Metalle und Arsen** nicht den Bulk-Gesamtgehalt des jeweiligen Stoffes umfassen, sondern nur die löslichkeitsverfügbaren (durch Salpetersäure mobilisierten) Anteile. Grenzwerte für Spurenstoff-Frachten gibt es nicht. Gemessen an Eintragslimitierungen nach der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung [91], die allerdings die „zusätzliche jährliche Fracht über alle Wirkungspfade“ begrenzen, ist einzuschätzen, dass bei Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Zink und Kupfer die Frachten in den letzten Jahren diese Limitierungen erheblich unterschritten. Die Arsen-Frachten unterschritten diese Limitierung (6 g/(ha · a)) weniger deutlich. Analog zu den Staubbefunden zeigten sich bei Nickel auch in den letzten Jahren starke Schwankungen der Frachthöhe. Der Trend der letzten Jahre deutet sogar leichte Frachtsteigerungen an. Auch an den UBA-Messstellen in der gesamten Bundesrepublik wurden im Zeitraum 1994 bis 1999 deutlich schwankende Befunde der Nickelkonzentrationen in der Niederschlagsdeposition festgestellt [53]. Die nachstehende Übersicht zeigt einen Vergleich der mittleren Nickelkonzentrationen (Bulk) in den Niederschlägen an den UBA-Messstellen (bundesweit) [53] und an den Messstellen in Brandenburg (Angaben in µg/l):

	Bundesrepublik	Brandenburg
1996	ca. 0,9	1,1
1999	ca. 1,2	1,7.

Die Untersuchung **organischer Spurenstoffe** in der Niederschlagsdeposition erfolgte nur an vier Messstellen und erst seit 1997. Daher sind für diese Stoffgruppe nur orientierende Aussagen möglich. Da außerdem aus der Vielzahl untersuchter or-

ganischer Verbindungen nur wenige in ausreichender Häufigkeit Befunde über der Nachweisgrenze erbrachten, sind Frachten nur für diese ausweisbar. Da organische Stoffe in den Niederschlägen vielen chemischen, physikalischen und biologischen Umwandlungsprozessen unterliegen und da die Konzentration organischer Stoffe in der Atmosphäre jahreszeitenabhängig ist, ist eine Hochrechnung auf Jahresfrachten über die Gesamtniederschlagsmenge meist abzulehnen [73]. Es werden daher nachfolgend nur mittlere Tagesfrachten angegeben.

Die auffällig hohen Frachten in Lauchhammer (Abb. 3.30) – insbesondere bei den Aromaten – resultierten vermutlich aus großen Altlasten carbonchemischer Anlagen, wobei im Jahre 1999 im Rahmen des Rückbaues der Anlagen mit massivem Bodenaushub möglicherweise in größerem Umfang Kohlenwasserstoffe gasförmig und partikelgebunden freigesetzt wurden. Von den untersuchten halogenierten leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffen hat sich – auch im bundesweiten Vergleich – Trichlormethan als bedeutungsvoll herausgestellt.

Aus der Gruppe der flüchtigen und schwerflüchtigen Kohlenwasserstoffe wurden nur für folgende Stoffe im Jahr 2000 beachtliche Tagesfrachten festgestellt: Essigsäure, Ameisensäure, Chloressigsäure und Phenol [73]. Chloressigsäure ist vor allem Abbauprodukt von anthropogenen Vorläufersubstanzen (z. B. 1.1.1-Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethan). Chlorphenole, Nitrophenole, polychlorierte Biphenyle, Chlorpestizide und Phthalate wurden nur in geringer Höhe gemessen [73].

Die Befunde polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) sind hinsichtlich der Vorsorgewerte nach [91] als irrelevant zu charakterisieren. An allen Messstellen lag die Summe der sechs zu begrenzenden PAK unter dem Grenzwert von 0,2 µg/l. Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(a)pyren erbrachten dabei die höchsten Befunde.

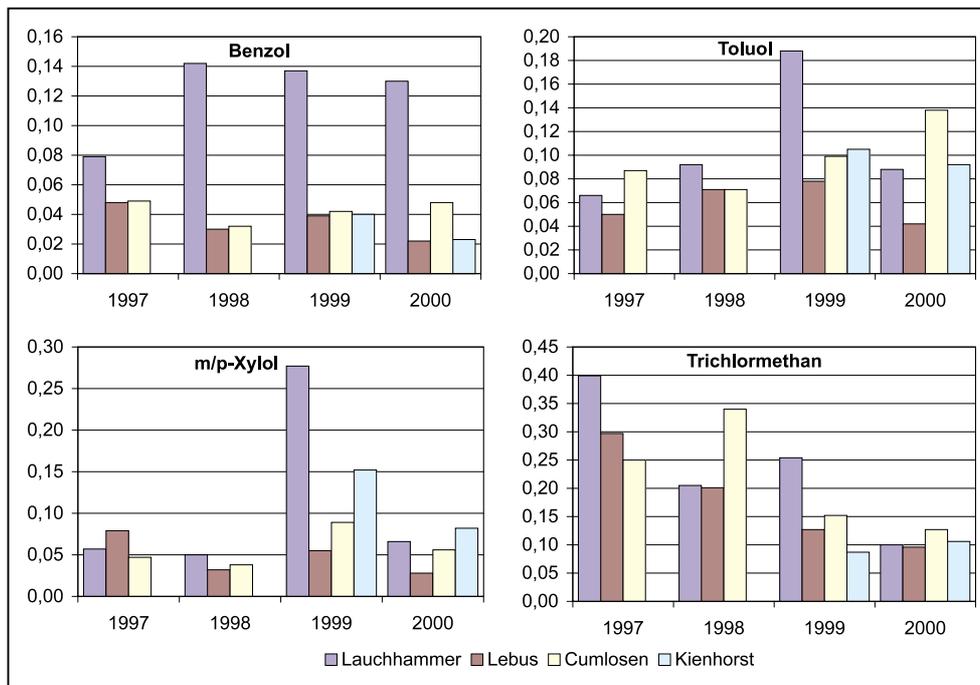


Abb. 3.30: Mittlere Bulk-Tagesfrachten leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe im Land Brandenburg (Angaben in µg/(m² · d))

3.3 Verkehrsbedingte Immissionen

Die Straßenverkehrssituation im Land Brandenburg weist innerhalb Deutschlands gewisse Besonderheiten auf. In zentraler mitteleuropäischer Lage ergeben sich durch Brandenburgs EU-Außengrenze zu Polen sowie die in der Landesmitte gelegene Bundeshauptstadt besonders ausgeprägte Transit- und Verbindungsfunktionen [72]. Der wirtschaftliche und räumliche Strukturwandel und der beginnende Ausbau der regionalen und überregionalen Verkehrsinfrastruktur führten ab 1990 zu einer enormen Zunahme des Straßenverkehrs. Die Verlagerung des Güter- und Personenverkehrs von der Schiene auf die Straße bedingte hohe verkehrsbedingte Immissionsbelastungen in zahlreichen brandenburgischen Orten, zumal der Schwerverkehr häufig noch durch Stadtzentren geführt werden musste.

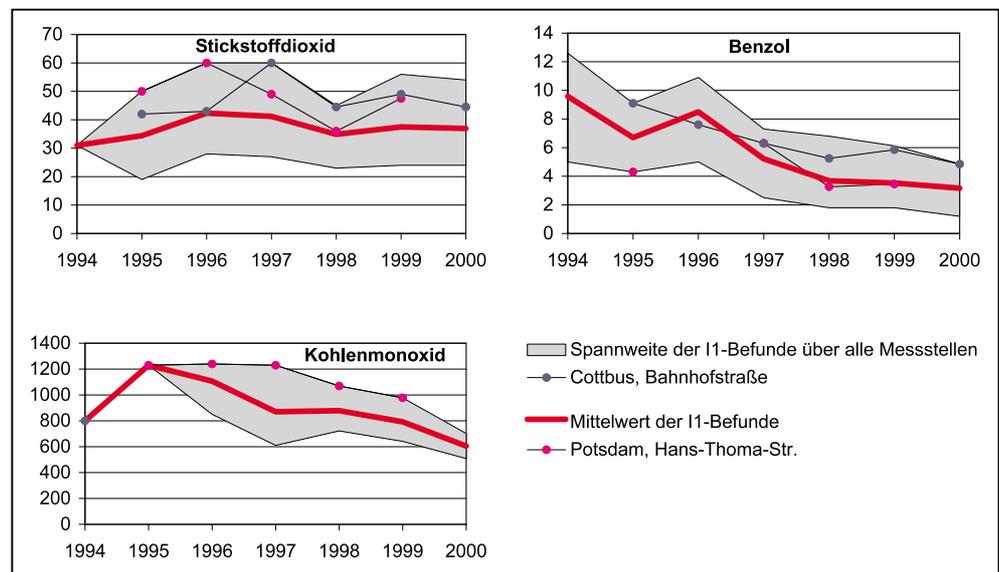
Insgesamt führte die radial-konzentrische Ausrichtung des Verkehrs auf Berlin zu einer relativ dichten Ausprägung des brandenburgischen Straßennetzes im ansonsten dünn besiedelten Flächenland. Beides begünstigte auch einen besonders starken

Anstieg des motorisierten Individualverkehrs (MIV), wobei der Motorisierungsgrad der Brandenburger Bevölkerung im Jahr 1999 mit 500 Pkw/1000 EW den bundesweiten Durchschnitt erreichte [72].

3.3.1 Gase

Aus dem Vergleich von innerstädtischen Hintergrundmessungen und den hier näher dargestellten Befunden von Messstationen an stark befahrenen Innerorts-Hauptstraßen lässt sich der dominante Immissionsanteil des Straßenverkehrs für einige Luftschadstoffe belegen. Verstärkend wirken dabei noch ungünstig ausgeprägte Straßenraumgeometrien, wobei sich enge, lückenlose und hohe Bebauung zur schlecht durchlüfteten Straßenschlucht ausbildet. Insbesondere schwere Nutzfahrzeuge sind maßgeblich an hohen NO_x - und Ruß-Immissionen beteiligt.

Abb. 3.31. Immissionsentwicklung (I1-Kenngrößen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) an Verkehrsmessstellen im Land Brandenburg



• Stickstoffdioxid (NO_2)

Die Entwicklung der NO_2 -Immissionen (Jahresmittelwerte) an den Verkehrsmessstellen ist in Abbildung 3.31 wiedergegeben; die beiden am längsten betriebenen Messstellen Potsdam (Hans-Thoma-Straße) und Cottbus (Bahnhofstraße) sind explizit aufgeführt.

Für den Zeitraum von 1995 bis 2000 lässt sich generell keine wesentliche Veränderung der Mittelwerte der NO_2 -Immission in Straßennähe erkennen. Dies trifft sowohl für die höchstbelasteten Standorte als auch für die Gesamtheit der Verkehrsmessungen zu. Offenbar konnte die weitgehende Durchsetzung des geregelten Katalysators (G-Kat) für Pkw mit Otto-Motor zum Ende des vergangenen Jahrzehnts keinen größeren Effekt erzielen, da sich die Zunahme der Fahrleistung, des Schwerverkehrs und wahrscheinlich auch die ungenügende Effizienz des Katalysators im deutlich gewachsenen innerstädtischen Verkehr gegenläufig auswirkten. Immerhin sind Parallelitäten in der Entwicklung von NO_2 -Immissionen (Jahresmittel) und Kfz-bedingten NO_x -Emissionen seit 1994 zu erkennen (Abb. 2.18). Die mittlere NO_2 -Belastung an brandenburgischen Innerorts-Hauptstraßen bewegt sich derzeit noch bei etwa 25 bis 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und verdeutlicht damit, dass für die 2010 zu erreichende

Einhaltung des EU-Jahresgrenzwertes von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [8] noch erhebliche Anstrengungen nötig sind. Neben den Auswirkungen der stufenweise verschärften EU-Abgasnormen sind vor allem verkehrsplanerische Lösungen gefragt, um insbesondere Durchgangs- und Schwerverkehr generell umweltverträglicher zu führen.

Bestätigungen für diese tendenziellen Aussagen finden sich in Sachsen-Anhalt, wo die mittlere NO_2 -Belastung an den Verkehrsmessstellen zwischen 1996 und 2000 immerhin um fast 30 % auf nur noch 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zurückging [93], in Schleswig-Holstein [94] und in Berlin [95] mit einem seit 1990/92 quasi-konstanten Konzentrationsniveau. Wie schwer jedoch deutschlandweite Tendenzen abzuleiten sind, zeigt auch der Vergleich einerseits mit Nordrhein-Westfalen (verkehrsbezogene NO_2 -Belastung von 1990 auf 1998 von 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Mittel sinkend [96]) und andererseits mit Baden-Württemberg. Dort waren zwischen 1994 und 1998 immerhin Steigerungen um jährlich 1-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert) trotz erheblicher Zunahme des G-Kat-Anteils zu verzeichnen [97].

Grundlage der Immissionsbewertung für NO_2 gemäß 23. BImSchV [6] ist der 98-Perzentil-Wert des jährlichen Datensatz-

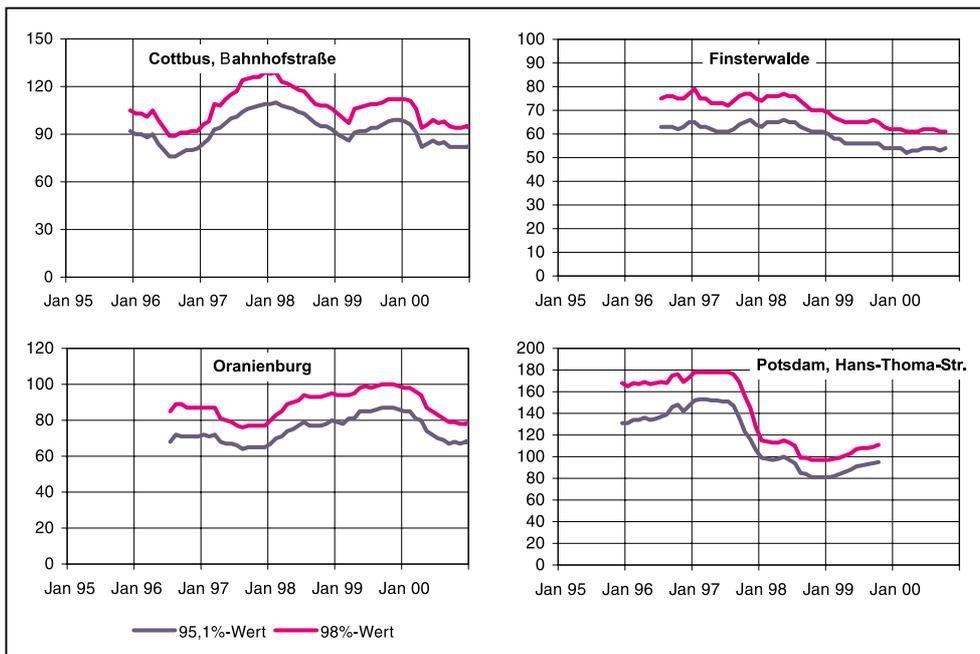


Abb. 3.32: Gleitende 95,1- und 98-Perzentile der Stickstoffdioxid-Immission (Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) an Verkehrsmessstellen im Land Brandenburg

zes, der die Kurzzeitbelastung charakterisiert. Obwohl bei kurzzeitigen Belastungen Schwankungen meteorologischer und verkehrstechnischer Natur stärker in das Immissionsgeschehen eingreifen, wurden beim 98-Perzentil die gleichen Entwicklungstendenzen wie beim NO_2 -Jahresmittel beobachtet – also eine Quasikonstanz des Konzentrationsniveaus. Auf die besondere Situation der Messstelle Potsdam (Hans-Thoma-Straße) sei hingewiesen [72]. Ansonsten war lediglich in Cottbus (Bahnhofstraße) zwischen August 1996 und August 1997 ein zwischenzeitlicher Anstieg zu beobachten, der im Wesentlichen ebenfalls häufigeren austauscharmen Wetterlagen, verbunden mit östlichen Winden, zuzuschreiben war. In Nordrhein-Westfalen war zwischen 1990 und 1998 ein Abfall des 98-Perzentilwertes von $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in Baden-Württemberg zwischen 1994 und 1998 dagegen ein leichter Anstieg von 2 bis $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu verzeichnen [96, 97].

Gleitende 12-Monatsmittel geben einen von saisonalen Einflüssen bereinigten Trend gut wieder. Demnach ist für die weitestgehend parallel verlaufenden Entwicklungen der 98 %- bzw. 95,1 %-Perzentilwerte (23. BImSchV [6] bzw. Richtlinie 1999/30/EG [8]) vor allem in Potsdam (Hans-Thoma-Straße) aus den in [72] genannten Gründen Ende 1997 ein bis Anfang 1999 sich hinziehender starker Belastungsabfall festzustellen (Abb. 3.32). Aber auch in Cottbus (Bahnhofstraße) und Finsterwalde (Bahnhofstraße) ist der Abnahmetrend bei NO_2 -Spitzenwerten unübersehbar. Lediglich Oranienburg zeigte ein entgegengesetztes Verhalten.

Damit lässt sich insgesamt ein leicht positives Fazit für den Trend der verkehrsbedingten NO_2 -Immissionen ziehen.

- **Benzol (C_6H_6)**

Die Entwicklung des in [6, 81] limitierten Jahresmittelwertes ist in Abbildung 3.31 dargestellt. Anhand der Messbefunde der beiden am längsten betriebenen repräsentativen Messstellen Potsdam (Hans-Thoma-Straße) und Cottbus (Bahnhofstraße) und der Hüllkurven aller an den Verkehrsmessstellen erfassten Jahresmittelwerte lässt sich eine recht gleichmäßige Abnahme der verkehrsbedingten Benzol-Belastung um rund zwei Drittel seit 1994 erkennen. Der Ausreißerwert von $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1995 in

Nauen wurde nicht berücksichtigt, da in mehr als der Hälfte jenes Jahres baustellenbedingt der Straßenverkehr eingestellt war und in dieser Zeit die Aufbringung von Bitumen lokal zu extremen Spitzenwerten führte.

Der weitestgehende G-Kat-Einsatz und ein im Laufe des Untersuchungszeitraumes systematisch abgesunkener Benzolgehalt im Benzin führten dazu, dass das anfängliche Belastungsniveau an den Schwerpunkten des Straßenverkehrs von etwa 5 bis $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1994) auf 2 bis $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2000) zurückging. Damit sind aktuell generell der Prüfwert der 23. BImSchV und der toleranzmargenbehäftete Grenzwert der Richtlinie 2000/69/EG [81] eingehalten. Es zeigte sich eine sehr gute Analogie zwischen Emissions- und Immissionsentwicklung an fast allen Verkehrsmessstellen, wobei sich auch die innerstädtische Hintergrundbelastung entsprechend verringerte. Zum Beispiel lag 1994 der I1-Wert in Brandenburger Rastermessnetzen noch bei 2 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, erreichte aber 1997 nur noch 1 bis $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [72].

Der systematische Rückgang der Benzolbelastung findet sich als generelle Tendenz auch in den Untersuchungsergebnissen der anderen Bundesländer, z.B. an den Verkehrsmessstellen in Schleswig-Holstein mit 30 bis 40 % seit 1994/95 [94], in Baden-Württemberg mit knapp 30 % zwischen 1994 und 1998 [98] und in Nordrhein-Westfalen mit sogar 57 % im Zeitraum 1990 bis 1998 [96]. Um mehr als die Hälfte ging das Benzol-Niveau auch in Sachsen-Anhalt zwischen 1996 und 1999 zurück [93].

- **Kohlenmonoxid (CO)**

Klammert man die lediglich ein Jahr währende orientierende CO-Messung am Standort Cottbus (Bahnhofstraße) aus, die nur einen Mittelwert von $0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ erbrachte, so zeigt Abbildung 3.31 seit 1995 einen auf niedrigem Niveau sich vollziehenden allmählichen Rückgang der verkehrsbedingten CO-Belastung. Hierfür kann die Messstelle Potsdam (Hans-Thoma-Straße) – sie weist das höchste Immissionsniveau in Brandenburg auf – als exemplarisch angesehen werden. Im Verlauf der letzten sechs Jahre ist der mittlere Pegel straßenexponierter Messbefunde um etwa die Hälfte von $1,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ auf $0,6 \text{ mg}/\text{m}^3$ zurückgegangen. Der Grenzwert von $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ für den höchsten 8-Stunden-Mittelwert eines Tages wurde seit Beginn der Registrierungen

bisher noch in keinen einzigen Fall auch nur annähernd erreicht. Insgesamt spiegelt der klar erkennbare Abnahme-Trend der CO-Immission gut die lufthygienischen Erfolge durch die Ablösung der Pkw mit 2-Takt-Motoren und die systematische Einführung des G-Kat wider.

3.3.2 Schwebstaub

- **PM10-Schwebstaub**

Um eine mehrjährige Entwicklung anhand der gesundheitsrelevanten und von [8] erfassten PM10-Schwebstaubimmission darstellen zu können, wurden die vor 1998 erhobenen gravimetrischen Befunde des Gesamtschwebstaubes gemäß der vom Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) befürworteten Konvention mit einem Faktor von 0,83 umgerechnet. Danach ist seit 1994 eine Belastungsreduzierung anhand der Jahresmittelwerte um etwa 55 % unübersehbar (siehe Abb. 3.33), die zeitlich allerdings recht ungleichmäßig abließ. Nach einem starken Rückgang zwischen 1995 und 1996 an den Verkehrsmessstationen blieb das Konzentrationsniveau anschließend drei Jahre nahezu unverändert und sank erst 2000 nochmals spürbar auf rund 35 µg/m³ ab.

Eine vergleichbare Entwicklung in anderen Bundesländern kann aus den jährlichen Luftqualitätsberichten mangels Angaben nur

für Nordrhein-Westfalen konstatiert werden. Dort ging die mittlere PM10-Belastung straßennah von 65 µg/m³ (1991) auf 52 µg/m³ (1998) zurück [96].

Für brandenburgische Verkehrsmessstellen liegt seit 1996 ein belastbarer Datenfundus zu PM10-Tagesmittelwerten vor. Danach ist anhand der gleitenden 12 Monats-Mittelwerte eine durchgängige Belastungsabnahme erkennbar, die gut mit den Ergebnissen anderer Bundesländer übereinstimmt [94, 96]. Betragen die straßenverkehrsnahe PM10-Konzentrationen für den 90,4-Perzentilwert gemäß [8] 1996 noch 90 bis 100 µg/m³ (und damit fast das Doppelte des bis 2005 einzuhaltenden Kurzzeitgrenzwertes), so halbierten sie sich nahezu bis Ende 2000 (siehe Abb. 3.34). Dies verdeutlicht gleichzeitig aber weiterhin einen Handlungsbedarf, der über die fortgesetzte Flottenerneuerung mit modernen Fahrzeugen geringerer Partikelemission allein nicht abgedeckt werden kann.

- **Ruß**

Ähnlich wie beim Benzol weist die Immissionsentwicklung bei dem in [6] limitierten Ruß einen klaren Abnahmetrend aus, der innerhalb von sechs Jahren zu einem Rückgang um etwa zwei Drittel führte. Von 11 bis 16 µg/m³ (1994) sank der Jahresmittelwert auf 3 bis 6 µg/m³ (2000). Somit konnten Überschreitungen der 2. Prüfwertstufe der 23. BImSchV anhand verkehrsbezogener Konzentrationsmessungen in Brandenburg ab 1999

Abb. 3.33: Immissionsentwicklung (I1-Kenngrößen) für Schwebstaub und Staubinhaltsstoffe an Verkehrsmessstellen im Land Brandenburg

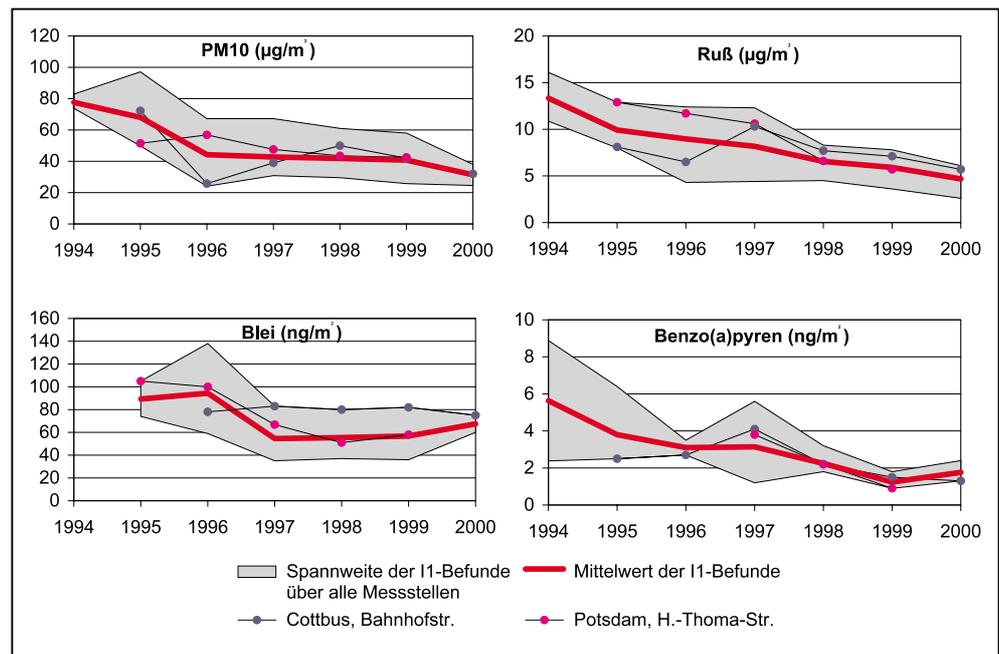
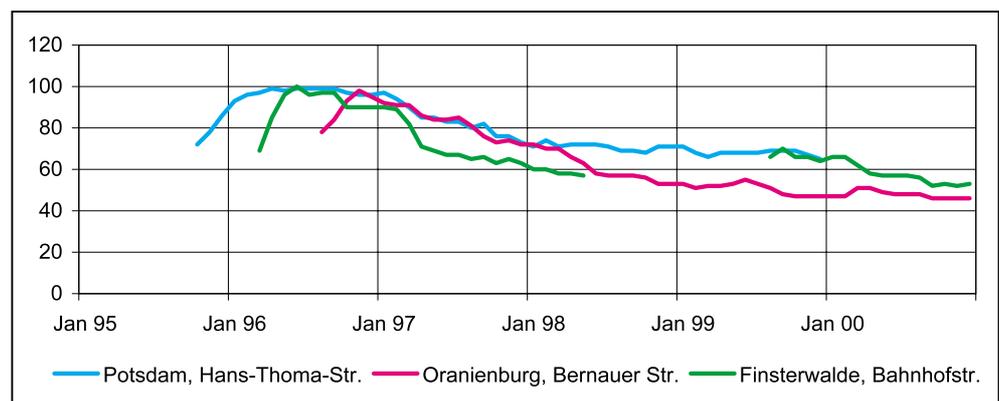


Abb. 3.34: Gleitende 90,4-Perzentile der Schwebstaub (PM10)-Immission an Verkehrsmessstellen im Land Brandenburg (Angaben in µg/m³)



nicht mehr nachgewiesen werden. Exemplarisch für den Belastungsrückgang ist die Zeitreihe von Potsdam (Hans-Thoma-Straße) (Abb. 3.33).

Diese Entwicklung spiegelt sowohl eine systematische Verbesserung der Emissionsverhältnisse bei Diesel-Kfz als auch den durch Brennstoffumstellungen zurückgegangenen Einfluss des Hausbrandes wider. Unter Berücksichtigung der Ruß-Anteile aus dem Reifenabrieb < 10 µm Durchmesser konnten die messstellenbezogenen Emissionsberechnungen (anhand der regelmäßigen automatischen Verkehrszählungen) allerdings diese deutliche Entlastung nicht besonders gut nachvollziehen. Zumindest bis 1997/98 waren die leichten Fortschritte in der Reinigung von Dieselmotorenabgas durch das zunehmende Aufkommen an Schwerverkehr und den Anstieg der Diesel-Pkw-Flottenanteile kompensiert. Insbesondere bei den Verkehrsmessstellen mit einer seit 1994 deutlicheren Belastungsabnahme ist ein bis Mitte der 90er Jahre noch nicht zu vernachlässigender Einfluss des Hausbrandes auf die Immissionssituation (insbesondere im Winter) zu vermuten.

Die relativ kräftigen Rückgänge der Ruß-Belastung im straßen nahen Raum brandenburgischer Städte werden tendenziell von den Befunden an den meisten Verkehrsmessstellen anderer Bundesländer bestätigt. Innerhalb der letzten vier Jahre sank das Mittel in Sachsen-Anhalt von 5 µg/m³ auf 3,8 µg/m³ [93], in Berlin von 1990 bis 1999 um 30 % auf 8,5 µg/m³ [95] und in Nordrhein-Westfalen von 7,5 µg/m³ (1995) auf 6,5 µg/m³ (1998) [96]. Lediglich in Baden-Württemberg war ein leichter Anstieg von rund 7 µg/m³ auf 8 µg/m³ im Mittel zwischen 1994 und 1998 zu beobachten [98]. Möglicherweise zeigten sich darin lokale Veränderungen des Schwerverkehrs, die bei der begrenzten Anzahl von Straßen-Dauermessstellen nicht völlig auszublenzen sind, wenn man einen repräsentativen Belastungs-Trend feststellen will.

3.4 Geruchsbelastigungen

Industrielle Emittenten (chemische Industrie, Zellstoff- und Zelluloseproduktion, Raffinerien, thermische Kohleveredelung, Tierkörperverwertungsanlagen, Chemiefaserproduktion u.a.), die Landwirtschaft, aber auch der Hausbrand (Braunkohleverbrennung) und der Straßenverkehr führten Ende der 80er Jahre zu erheblichen Geruchsbelastigungen mit einer massiven Beeinträchtigung des Wohlbefindens vieler Einwohner auf den Gebiet des heutigen Landes Brandenburg. So verursachten beispielsweise Anlagen der thermischen Kohleveredelung in Schwarze Pumpe und Lauchhammer in einem Umkreis bis 40 km erhebliche Belastigungen, von denen bis 0,3 Mio. Einwohner betroffen waren.

Insbesondere im Zeitraum 1990 bis 1992 wurden durch massive Anlagenstilllegungen, aber auch durch den Einsatz von Abgasreinigungstechnik Häufigkeit und Intensität der Geruchsbelastigungen erheblich reduziert. Trotzdem wurden beispielsweise Mitte der 90er Jahre in Brandenburg punktuell noch im-

3.5 Zusammenfassende Einschätzung der Immissionsentwicklung

Die SO₂-Immissionen sanken in Brandenburg im Zeitraum 1991/2000 auf 14 %. Zu Beginn des Berichtszeitraumes existierten innerhalb Brandenburgs deutliche räumliche Unterschiede (Süd-Nord-Gefälle), die bis zum Jahr 2000 nahezu verschwunden

• Blei (Pb) im Schwebstaub

Die Einführung bleifreier Benzins und das seit 1996 geltende Verbot von bleihaltigem Otto-Kraftstoff gehören in ihren Auswirkungen zu den besonders wirksamen immissionsmindernden Maßnahmen im Verkehrsbereich. Da kontinuierliche Messungen im straßennahen Bereich in Brandenburg erst seit 1996 vorliegen, konnte nur noch die "Auslaufphase" bleihaltiger Kfz-Emissionen erfasst werden (Abb. 3.33). Das Belastungsniveau lag aber auch 1995/96 bereits nur noch bei etwa 0,1 µg/m³ und schöpfte damit lediglich 20 % des Grenzwertes [8] aus, der bis 2005 zu erreichen ist. Im Folgejahr sank das Konzentrationsniveau auf rund 60 ng/m³ und hat sich seitdem auf dieser geringen Absoluthöhe stabilisiert, die sich nur noch geringfügig vom städtischen Hintergrund (40 ng/m³) und von ländlichen verkehrsfernen Verhältnissen (20 ng/m³) unterscheidet. Längere Messreihen in Nordrhein-Westfalen bestätigen die Brandenburger Befunde. Wurden 1990 noch 0,26 µg/m³, gemittelt über alle Verkehrsmessstellen, festgestellt, so sank die Belastung bis 1998 auf 40 ng/m³ [96].

• Benzo(a)pyren (BaP)

Ähnlich wie bei Ruß waren bis Mitte der 90er Jahre die Anteile des Hausbrandes (Braunkohleerzeugung) in größeren ostdeutschen Städten nicht zu vernachlässigen. Entsprechend der mit der Brennstoffumstellung und der Modernisierung des Kfz-Bestandes verbundenen Emissionsminderung zeichnet sich in Abbildung 3.33 bei großen lokalen Unterschieden ein kontinuierlicher Immissionsrückgang beim Jahresmittelwert von knapp 6 ng/m³ (1994) auf etwa 1,5 ng/m³ (1999) ab. Auf diesem Niveau scheint sich die Straßen nahe Belastung einzupegeln. Sie liegt damit in vergleichbarer Höhe wie die Stadtautobahn nahen Befunde in Berlin (1998 bei 1 ng/m³), nachdem dort 1990 noch knapp 6 ng/m³ gemessen worden waren [95]. Ähnliche Verhältnisse wurden auch in Nordrhein-Westfalen festgestellt, wo ein 60 %-Rückgang zwischen 1990 (3 ng/m³) und 1998 (1,3 ng/m³) auftrat.

mer H₂S-Immissionen über dem Niveau vergleichbarer Gebiete der alten Bundesländer gemessen und die Ämter für Immissionsschutz mussten zahlreichen Beschwerden über Geruchsbelastigung nachgehen. Quantitative Angaben zur Immission des Geruchsträgers Schwefelwasserstoff sind dem Abschnitt 3.2.1.4 zu entnehmen. Selbst im Jahr 2000 traten im näheren Umkreis industrieller Anlagen, von Anlagen der Landwirtschaft, der Abfall- und Abwasserbehandlung, von Altlasten (z. B. Erdbecken mit carbochemischen Abprodukten), aber auch im Umkreis kleingewerblicher Anlagen noch immer Geruchsbelastigungen auf.

Im Bereich stark frequentierter Straßen erbrachte der fast 100 %ige Rückgang von 2-Takt-Fahrzeugen (Abb. 2.13) ab Mitte der 90er Jahre erhebliche Minderungen dieser typischen Geruchsbelastigungen in den neuen Bundesländern, die im Jahr 2000 praktisch völlig verschwunden waren.

waren. Die Immissionswerte der TA Luft [12] wurden im gesamten Berichtszeitraum erheblich unterboten. Die Befunde des Jahres 2000 unterschritten auch die strengeren Grenzwerte nach der Richtlinie 1999/30/EG [8] sicher.

Nur die industriebezogenen und die wenigen urbanen NO₂-Hintergrundmessstellen zeigten im Mittel einen sinkenden Trend, da in den Städten durch Straßenverkehr und Kleinf Feuerungsanlagen mit ihrer hohen Immissionswirksamkeit die Effekte der Emissionsminderungen bei industriellen Quellen weitgehend kompensiert wurden. Das Süd-Nord-Gefälle wurde 2000 im Vergleich zu 1994 nur geringfügig abgebaut. Der NO₂-Immissionswert der TA Luft zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurde an den industriebezogenen und Hintergrundmessstellen deutlich unterschritten. Die Grenzwerte zum Schutz der Gesundheit und zum Schutz der Vegetation nach [8] wurden im Jahr 2000 sowohl an den industriebezogenen als auch an den städtischen und ländlichen Hintergrundmessstellen eingehalten.

Die Ozon-Immission (I1) ruraler Hintergrundmessstellen ist im Landesmittel – bei einigen meteorologisch bedingten annualen Schwankungen – seit 1992 leicht gestiegen. An den urbanen Hintergrundmessstellen und an den industriebezogenen Messstellen ist seit 1994 kaum ein Trend erkennbar. Die räumliche Verteilung zeigt ein Nord-Süd-Gefälle. Schwellenwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder der Vegetation [77, 80] wurden teilweise im gesamten Messzeitraum und mitunter flächendeckend überschritten.

Die CO-Immission war im Landesmittel im Jahr 2000 im Vergleich zu 1991 bei den industriebezogenen Messstellen auf 63 % und bei den urbanen auf 44 % gesunken. Die stärkere Absenkung in den urbanen Bereichen resultierte aus dem starken Rückgang der Nutzung von Braunkohle für den Hausbrand und der Einführung von 4-Takt-Pkw mit geregelter Katalysator.

Auch wenn der verfügbare Datenfundus keine belastbaren quantitativen Aussagen zur Immissionsentwicklung leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe zulässt, so kann doch eingeschätzt werden, dass insbesondere in Gebieten, die durch relevante chemische Industrie und thermische Kohleveredelung stark beeinflusst wurden, seit 1991 starke Immissionsminderungen eingetreten sind. Auch generell im urbanen Bereich wurden die Kohlenwasserstoffimmissionen durch Emissionsminderungen beim Verkehr, Hausbrand, Kleingewerbe und bei der Konsumgüterverwendung spürbar reduziert.

Die Schwebstaubimmission war im Jahr 2000 im Vergleich zu 1991 bei den Hintergrundmessstellen auf etwa 52 %, bei den industriebezogenen Messstellen auf 37 % gesunken. Trotz häufig erheblicher annualer Schwankungen wurden seit 1991 bei den anorganischen Spurenstoffen des Schwebstaubes leichte Abnahmen gemessen. Die stärksten Minderungen wurden beim Blei festgestellt, so dass auch verkehrsferne Messstellen von der Reduzierung und anschließendem Verbot des Einsatzes verbleiten Benzins partizipierten. Die Immission der von Hausbrand (Braunkohle) und Straßenverkehr verursachten partikelgebundenen polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe ist im Berichtszeitraum im Allgemeinen erheblich gesunken.

Der Luftverunreinigungsindex verkehrsferner Messstellen – gebildet aus den I1-Kenngrößen von SO₂, NO₂, O₃ und Schwebstaub – ist im Jahr 2000 im Vergleich zu 1993 bei urbanen und ruralen Hintergrundmessstellen auf etwa 75 % und bei industriebezogenen Messstellen auf 60 % gesunken. Die Bonitierung der Luftverunreinigungssituation wechselte bei den urbanen Hintergrundmessstellen und industriebezogenen Messstellen von „mittlerer Luftverunreinigung“ zu „niedriger Luftverunreinigung“.

Die mittlere Staubbiederschlagsbelastung Brandenburgs hat sich im Zeitraum 1991 bis 2000 auf 27 % reduziert. Während der Immissionswert nach [12] für den Jahresmittelwert 1991 noch an ca. 40 % aller Messstellen überschritten wurde, waren seit 1999 keine Überschreitungen mehr festzustellen. Die Entwicklung des Gehaltes an Schwermetallen zeigte ein stoffspezifisch uneinheitliches Bild auf meist bundesweit üblichem Niveau.

Die Minderung der Bulk-Frachten der Niederschlagsdeposition ist im Landesmittel für den Zeitraum 1991 bis 2000 wie folgt abzuschätzen: Schwefel auf unter 20 %, organisch gebundener Stickstoff auf etwa 70 %, Calcium auf unter 15 %. Trotz sinkender Sulfat- und Nitratgehalte kam es nach 1991 bis Mitte der 90er Jahre zu einer leicht wachsenden Versauerung der Niederschläge, da deren Calciumgehalt im Vergleich zu dem der Säurebildner stärker abgesunken war. Zur Entwicklung des Spurenstoffgehaltes der Niederschlagsdeposition sind kaum belastbare Trendaussagen möglich, da bei annuell stark schwankenden Werten die Untersuchungen erst in der 2. Hälfte der 90er Jahre begannen.

Die Fahrleistungen im Straßenverkehr sind von 1991 bis 2000 auf 132 % im Personenverkehr und auf 179 % im Güterverkehr gestiegen. Messwerte von verkehrsbezogenen Messstellen liegen meist erst seit 1995 vor; im Zeitraum 1995 bis 2000 stiegen die Fahrleistungen beim Personenverkehr auf 108 % und beim Güterverkehr auf 118 %. Auf der Basis der vorliegenden Messwerte und der Emissionsentwicklung lässt sich abschätzen, dass im Berichtszeitraum trotz stark gesteigerter Fahrleistungen die NO₂-Immissionen leicht und die Kohlenwasserstoff-Konzentrationen erheblich gesunken sind (verursacht durch extrem stark veränderte Fahrleistungen von 2-Takt-Pkw und G-Kat-Pkw). Die NO₂-Immissionen (I1) lagen an Innerorts-Hauptverkehrsstraßen noch bei 25 bis 55 µg/m³, d. h. sie überschritten noch teilweise den im Jahr 2010 zu erreichenden Grenzwert von 40 µg/m³ [8]. Staub und Staubinhaltsstoffe rekrutieren sich in beachtlichem Umfang auch aus anderen Quellen, daher sind die festgestellten sinkenden Messergebnisse nicht monokausal der Straßenverkehrsentwicklung zuzuordnen. Die Staubinhaltsstoffbelastungen durch Blei, Ruß und Benzo(a)pyren sind im Berichtszeitraum kontinuierlich gesunken. Grenzwerte für Blei und Ruß wurden in den letzten Jahren nicht bzw. nicht mehr überschritten.

In etlichen Teilen Brandenburgs führten Geruchsbelästigungen bis zur Wende zu teils massiven Einschränkungen des Wohlbefindens der Bürger. Der Umfang der Geruchsbelästigungen ist insbesondere Anfang der 90er Jahre drastisch gesunken. Trotzdem waren auch im Jahre 2000 Geruchsbelästigungen lokal begrenzt und mit geringerer Intensität vor allem bei Tierhaltungsanlagen noch vorhanden.

4 Ausblick

Angesichts der im Verlaufe des vergangenen Jahrzehnts erreichten bemerkenswerten Immissionsreduzierungen, vor allem bei der **urbanen Hintergrundbelastung und dem signifikanten Industrieinfluss**, werden dort in den nächsten Jahren keine weiteren wesentlichen Konzentrationsrückgänge mehr zu erwarten sein. Auf relativ niedrigem Absolutniveau wird ein meteorologisch bedingtes jährliches Schwanken der Immissionskenngrößen für SO_2 , NO_2 , VOC, PM10-Schwebstaub und Staubbiederschlag höchstens noch zu einem asymptotischem Ausklingen des langjährigen Abnahmetrends führen. Am ehesten werden sich lokale/regionale Aktions- und Maßnahmepläne gemäß EU-Rahmenrichtlinie (RRL) Luftqualität durch die Reduzierung des Beitrages diffuser und nicht gefasster Quellen – ungeachtet der verkehrsbezogenen Maßnahmen – auf den gebietsbezogenen PM10-Anteil auswirken. Auf internationaler Ebene dürfte sich bis 2010 des Weiteren die Festlegung nationaler Emissionsobergrenzen hinsichtlich des großräumigen Aerosoltransportes günstig für die PM10-Dauerbelastung bemerkbar machen. Ähnlich positiv werden diese Vereinbarungen in ihrer Auswirkung auf Ozonvorläuferemissionen gewertet. Damit dürften sich Belastungsrückgänge sowohl bei Ozonspitzenwerten (Häufigkeit, Höhe) als auch bei der Dauerbelastungshöhe (AOT 40-Dosiswert) mittelfristig einstellen. In gleicher Weise ist ein weiterer leichter Rückgang der Depositionsfrachten des versauernd und eutrophierend wirkenden Stickstoffs sowie der Säureeinträge bei der **ruralen Hintergrundbelastung** in Brandenburg zu erwarten.

Die **verkehrsbedingte Immissionsbelastung** bleibt der Schwerpunkt der lufthygienischen Überwachung in Brandenburg. Dabei hat sich durch die neuen EU-Vorschriften der Handlungsbedarf von der bisherigen Hauptkomponente Ruß zum PM10-Schwebstaub verlagert. Mit dem aktuell erreichten Konzentrationsniveau ist dessen ab 2005 geltender Langzeit-Grenz-

wert gemäß 1. EU-Tochtrichtlinie offenbar an brandenburgischen Innerortsstraßen weitgehend einhaltbar, zumal die Umsetzung der EU-Abgasnormen bis dahin weitere Fortschritte bringen wird. Als am problematischsten wird wie auch in den übrigen Bundesländern die ab 2005 geforderte Einhaltung des EU-Kurzzeit-Grenzwertes angesehen. Danach müssen mindestens 90,4 % aller Tagesmittelwerte eines Jahres unterhalb von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen. Hier sind detaillierte Verursacher-Analysen notwendig, um einen effektiven Einsatz von Maßnahme- und/oder Aktionsplänen gemäß EU-RRL zu gewährleisten. Aufgrund der stark von lokalem Schwerverkehrsaufkommen abhängigen Rußkonzentrationen können auch in den nächsten Jahren vereinzelte Überschreitungen des Prüfwertes der 23. BImSchV innerorts nicht ausgeschlossen werden. Bei Benzol ist mit Sicherheit die Einhaltung des EU-Grenzwertes von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittel) für 2010 zu erwarten.

Aus der Prognose weiterer deutlicher Abnahmen verkehrsbedingter NO_x -Emissionen ist die Einhaltung des EU-Kurzzeitgrenzwertes für 2010 mit hoher Wahrscheinlichkeit ableitbar ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den 99,8-Perzentil-Wert, der 18 Überschreitungen dieses Einstundenmittels im Jahr erlaubt). Die bisher verzeichneten lokalen NO_2 -Höchstbelastungen erreichten im Vergleich dazu einen 98-Perzentil-Wert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ebenso ist eine Überschreitung des NO_2 -Jahresmittels von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu diesem Zeitpunkt weitgehend auszuschließen.

Da die im verkehrsnahen Bereich festgestellten Bleikonzentrationen im Schwebstaub nur noch geringfügige Unterschiede zu den Befunden im urbanen oder ruralen Hintergrund aufweisen und damit der EU-Grenzwert für 2005 [8] bereits um etwa eine Größenordnung unterboten wird, sind hier weitere Verbesserungen nicht mehr zu erwarten.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Landesimmissionsschutzgesetz (ImSchG), Bekanntmachung der Neufassung vom 22.07.1999 (GVBl. I, S. 386)
- [2] Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Immissions- und Strahlenschutzes (Immissionsschutz-zuständigkeitsverordnung – ImSchZV-Bbg) i.d.F. vom 29.05.1997 (GVBl. II, S. 686), zuletzt geändert durch Verordnung vom 15.09.1999 (GVBl. II, S. 509)
- [3] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 14.05.1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Gesetz vom 09.09.2001 (BGBl. I, S. 2331)
- [4] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Emissionserklärungsverordnung - 11. BImSchV) vom 12.12.1991 (BGBl. I, S. 2213), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18.10.1999 (BGBl. I, S. 2064)
- [5] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung –12. BImSchV) vom 26.04.2000 (BGBl. I, S. 603)
- [6] Dreiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Festlegung von Konzentrationswerten – 23. BImSchV) vom 16.12.1996 (BGBl. I, S. 1962)
- [7] Oberbergamt des Landes Brandenburg: Immissionsschutz in Braunkohlentagebauen. OLB-Richtlinie, Ord.-Nr. 16 vom 15.04.1993
- [8] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.04.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (ABl. L 163, S. 41)
- [9] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27.09.1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (ABl. L 296, S. 55)
- [10] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Luftqualität 1975 bis 1990 – Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg. Schriftenreihe: Studien und Tagungsberichte, Band 5 (1995) (ISSN 0948-0838)
- [11] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen – 13. BImSchV) vom 22.06.1983 (BGBl. I, S. 719), geändert am 03.05.2000 (BGBl. I, S. 632)
- [12] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27.02.1986 (GMBl. S. 95)
- [13] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) vom 14.03.1997 (BGBl. I, S. 490), zuletzt geändert am 27.07.2001 (BGBl. I, S. 1950, 1976)
- [14] Einunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen – 31. BImSchV) vom 21.08.2001 (BGBl. I, S. 2180)
- [15] WICKERT, B.; FRIEDRICH, R.; MERTEN, D.: Luftschadstoffemissionen in den Neuen Bundesländern. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 58 (1998), S. 51
- [16] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Emission und Immission organischer Verbindungen im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Heft-Nr. 46, 1999
- [17] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): Immissionsschutzbericht 1996 des Landes Brandenburg (1997)
- [18] Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen – 2. BImSchV) vom 10.12.1990 (BGBl. I, S. 2694), zuletzt geändert durch Verordnung vom 21.08.2001 (BGBl. I, S. 2180, 2209)
- [19] Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Otto-Kraftstoffen – 20. BImSchV) zuletzt geändert durch Verordnung vom 27.05.1998 (BGBl. I, S. 1174)
- [20] Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen – 21. BImSchV) vom 07.10.1992 (BGBl. I, S. 1730)
- [21] DEBRIV – Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e. V. (Hrsg.): Braunkohle – Ein Industriezweig stellt sich vor. (1995), (1997), (1998), (1999)
- [22] Braunkohlenausschuss des Landes Brandenburg (Hrsg.): Braunkohlen- und Sanierungsplanung im Land Brandenburg – Grundlagen, Zusammenhänge, Eckdaten (1998)
- [23] Geschäftsbericht der Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft 1999/2000
- [24] BERTL, R.; FREYTAG, K.; SCHÖNHERR, D.; NEUMANN, W.: Staubimmission im Tagebaumfeld des Lausitzer Braunkohlenreviers. Immissionsschutz 2 (1999), S. 41
- [25] DEBRIV – Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e. V. (Hrsg.): Jahresbericht 1993, Jahresbericht 1998
- [26] LAUBAG Lausitzer Braunkohle AG: Pressemitteilung vom 26.10.2001
- [27] SPEER, R.: Erholungs- und Freizeitgestaltung in Rekultivierungsgebieten – ein Konfliktfeld. In: Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e. V. (Hrsg.): Tagungsband Rekultivierungskongress „Neue Landschaft folgt dem Tagebau“ (1998)
- [28] Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Land Brandenburg (Hrsg.): Statistische Berichte/Energiebilanz des Landes Brandenburg 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996. Energiebilanz/CO₂-Bilanz 1997, 1998
- [29] Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg (Hrsg.): Energiebilanz 1990 des Landes Brandenburg (1991)
- [30] LAUBAG Lausitzer Braunkohlen AG: Mitteilung vom 10.12.2001
- [31] Staatliche Umweltinspektion beim Rat des Bezirkes Cottbus: Emissionsbericht 1989 (1990)
- [32] VEAG – ESPAG: GWK 2x800 MW – Kurzbeschreibung der Anlage für BImSchG – Antrag vom 01.01.1992

- [33] VEAG Vereinigte Energiewerke AG: Mitteilung vom 29.03.2001
- [34] BASF Schwarzheide GmbH: Mitteilungen vom 27.02.2001 und vom 06.12.2001
- [35] EKO-Stahl GmbH: Mitteilung vom 19.03.2001
- [36] Hennigsdorfer Elektrostahlwerke GmbH: Mitteilungen vom 26.03.2001 und vom 29.11.2001
- [37] Rüdersdorfer Zement GmbH: Mitteilung vom 19.03.2001
- [38] Staatliche Zentralverwaltung für Statistik (Hrsg.): Statistisches Jahrbuch der DDR. Berlin; Erscheinungsweise jährlich bis 1989
- [39] Kraftfahrtbundesamt (Hrsg.): Statistische Mitteilungen, Reihe 2 Kraftfahrzeuge, Sonderheft 2. Flensburg; Erscheinungsweise halbjährlich
- [40] Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Verkehr: System der repräsentativen Verkehrsbefragung SrV im Auftrag von Städten in den neuen Bundesländern, Dresden 1991, 1994, 1998
- [41] Mitteilung des Brandenburgischen Landesamt für Bauen, Verkehr und Straßenwesen vom 11.07.2001
- [42] Mitteilung der Abteilung Verkehrsplanung der Stadt Potsdam vom 20.08.2001
- [43] Dr. Ing. hc. F. PORSCHE AG, Institut für Chemische Technologie und Brennstofftechnik der TU Clausthal, TÜV Rheinland: Aromaten im Abgas von Otto-Motoren. Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, März 1988
- [44] Umweltbundesamt Berlin: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 1.2, Januar 1999
- [45] STENDEL, D.; APPEL, H.: Abgasemissionen von Wartburg und Trabant. Untersuchung im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin 1990
- [45a] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.): Auswertung und Analyse von Aromaten in bleifreien Ottokraftstoffen ausgewählter Tankstellen im Land Brandenburg. Potsdam März 1996
- [45b] RÖSSNER, A.: Kraftstoffqualitäten der Raffinerie Schwedt. Mitteilung der DEA vom 19.07.2001
- [45c] Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen – 10. BImSchV) vom 13.12.1993 (BGBl. I, S. 2036), zuletzt geändert am 22.12.1999 (BGBl. I, S. 2845)
- [46] Beschluss der Bundesregierung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2005 auf der Grundlage des ersten Berichtes der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“ (IMA „CO₂-Reduktion“) vom 07.11.1990
- [47] Deutscher Bundestag, 13. Wahlperiode: Klimaschutz in Deutschland – Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, April 1997, Drucksache 13/7865, 06.06.1997
- [48] Beschluss der Bundesregierung vom 29. September 1994 zur Verminderung der CO₂-Emissionen und anderer Treibhausgasemissionen in der Bundesrepublik auf der Basis des dritten Berichtes der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO₂-Reduktion“ (IMA „CO₂-Reduktion“)
- [49] Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg (Hrsg.): Leitentscheidungen zur brandenburgischen Energiepolitik, Potsdam, Juni 1992
- [50] Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg (Hrsg.): Energiekonzept für das Land Brandenburg vom 31. Mai 1996, Potsdam, 1996
- [51] PROGNOSE: Gutachten zur Fortschreibung des Energiekonzeptes des Landes Brandenburg, Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg, Berlin, Januar 2001
- [52] CO₂-Minderungsprogramm der Bundesregierung. Umwelt Nr. 5/1995
- [53] Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 58/00
- [54] Mitteilungen der Messnetz-Datenzentrale des Umweltbundesamtes in Langen (1995 bis 2000)
- [55] Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (TA Siedlungsabfall) vom 14.05.1993, Bundesanzeiger 99 a
- [56] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Abschätzung der klimarelevanten Emissionen aus biogenen und nicht erfassten Quellen im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Heft-Nr. 26 (1997)
- [57] GRAHMS, D.: Landesweite Ermittlungen der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC). In: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Berichte aus der Arbeit 1996 (1997), S. 135
- [58] THELOKE, J.; OBERMEIER, A.; FRIEDRICH, R.: Abschätzung der Emissionen von Lösungsmitteln in Deutschland. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 61 (2001), S. 105
- [59] Bundesanstalt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hrsg.): Luftschadstoffemissionen aus natürlichen Quellen in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 257, 1991
- [60] European Environment Agency: EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. <http://reports.eea.eu.int/EMEPOCORINAIR/en> (Februar 2001)
- [61] Umweltbundesamt: Hintergrundpapier zur Umsetzung der EU-Lösemittelrichtlinie in deutsches Recht vom 02.12.1999
- [62] Hessische Landesanstalt für Umwelt (Hrsg.): Emissionskataster Hessen – Landesweite Abschätzung der Emissionen aus biogenen und nicht gefassten Quellen. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 184, Wiesbaden, 1996
- [63] WIESERT, P.; RIPPEN, G.; DÖRR, H.: Die Verfrachtung von Schadstoffen durch Winderosion – Versuch einer Quantifizierung. altlasten spektrum (1996), S. 79
- [64] KESSELMEIER, J.; STAUDT, M.: Biogene flüchtige Kohlenwasserstoffe. In: Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie. Bd. 1A Atmosphäre. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2000
- [65] RICHTER, K.; KNOCH, R.; SCHOENEMEYER, T.; SMIATEK, G.; STEINBRECHER, R.: Abschätzung biogener Kohlenwasserstoff-Emissionen. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung – Zeitschrift für Umwelttechnologie und Ökotoxikologie 10 (1998), S. 319

- [65a] Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen (ABl. L 85)
- [66] Vierte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Ermittlung von Immissionen in Untersuchungsgebieten – 4. BImSchVvV) vom 26.11.1993 (GMBl. S. 825)
- [67] Richtlinien für die Bauausführung und Eignungsprüfung von Messeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung der Immissionen; RdSchr. d. BMI vom 19.08.1981 (GMBl. S. 355)
- [68] Richtlinie VDI 2463 Blatt 7, Messen von Partikeln. Messen der Massenkonzentration (Immission); Filterverfahren; Kleinfiltergerät GS 050 (August 1982)
- [69] Richtlinie VDI 2119 Blatt 2, Messung partikelförmiger Niederschläge. Bestimmung des Staubniederschlags mit Auffanggefäßen aus Glas (BERGERHOFF-Verfahren) oder Kunststoff (September 1996)
- [70] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Luftgütemessnetz – Jahresbericht 1991 (1992), Luftqualität in Brandenburg – Jahresbericht 1992 (1993) bis Jahresbericht 2000 (2001)
- [71] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Staubimmission und Spurenstoffgehalt des Staubes im Land Brandenburg. Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Heft-Nr. 39 (1998)
- [72] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Auswertung von Immissionsmessungen an ausgewählten Straßen im Land Brandenburg von 1994 bis 1998 unter Berücksichtigung von Verkehrsdatenerhebungen, Fachbeiträge des Landesumweltamtes – Titelreihe Heft-Nr. 54 (2000)
- [73] Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Staubbiederschlag und Niederschlagsdepositionen in Brandenburg. Schriftenreihe: Studien und Tagungsberichte, Band 36 (2002) (ISSN 0948-0838)
- [73a] Norwegian Institute of Air Research: EMEP Data-Report 1/95. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt, Ausgabe 1997, Berlin: Erich Schmidt (1997)
- [74] MATTICK, S.: Verfahren zur Berechnung von Immissionen für beliebige Orte aus den Daten des Luftgütemessnetzes. In: Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg.): Berichte aus der Arbeit 1996, S. 141 (1997)
- [75] Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt – Der Zustand der Umwelt in Deutschland 1997//2000. Berlin: Erich Schmidt 1997//2001
- [76] Umweltbundesamt (Hrsg.): Daten zur Umwelt – 1990/1991//1992-1993//. Berlin: Erich Schmidt 1992//1994
- [77] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte – 22. BImSchV) vom 26.10.1993 (BGBl. I, S. 1819), geändert durch Verordnung vom 27.05.1994 (BGBl. I, S. 1095)
- [78] BEILKE, S.; WALLASCH, M.: Die Ozonbelastung in Deutschland seit 1990 und Prognose der zukünftigen Entwicklung. Immissionsschutz 4 (2000), S. 149
- [79] Umweltbundesamt (Hrsg.): Ozonsituation 1994 in der Bundesrepublik Deutschland – Messwerte aus dem Messnetzen der Bundesländer und des Umweltbundesamtes, 1995
- [80] Gemeinsamer Standpunkt (EG) Nr. 16/2001 vom Rat festgelegt am 08.03.2001 im Hinblick auf den Erlass der Richtlinie 2001/.../EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom ... über den Ozongehalt der Luft. ABl. C 126 vom 26.04.2001
- [81] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.11.2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft (ABl. L 313, S. 12)
- [82] Luftqualitätsrichtlinien (Air Quality Guidelines) der Weltgesundheitsorganisation WHO (1989)
- [83] Länderausschuss für Immissionsschutz (Hrsg.): Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen: Entwicklung von Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Luftverunreinigungen im Auftrag der Umweltministerkonferenz (1991)
- [84] Länderausschuss für Immissionsschutz (Hrsg.): Bewertung von Toluol- und Xyloimmissionen, LAI-Schriftenreihe Bd. 16, Berlin: Erich Schmidt, 1997
- [85] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), Arbeitspapier vom 12.06.2001
- [86] WHO Regional Office for Europe: Update and Revision of the Air Quality Guidelines for Europe, Meeting of the working group Classical Air Pollutants, EUR/ICP/EHAZ 94 05/PB01, Bilthoven, The Netherlands 11–14 October 1994
- [87] Länderausschuss für Immissionsschutz (Hrsg.): Bewertung von Chrom-, Nickel- und Styrol-Immissionen, LAI-Schriftenreihe Bd. 21, Berlin: Erich Schmidt, 1998
- [88] Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.): Luftreinhalteplan Großraum Stuttgart 1991; UM-20-21
- [89] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.): Atmosphärische Deposition – Richtlinie für Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit (1998)
- [90] ÖKO-DATA-Gesellschaft für Ökosystemanalyse und Umweltdatenmanagement mbH: Bestimmung und Kartierung von ökologischen Belastungsgrenzen – Critical Loads & Levels –. http://www.oekodata.com/deu/html/critical_loads.html (März 2001)
- [91] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12.07.1999 (BGBl. I, S. 1554)
- [92] PCK Raffinerie GmbH: Mitteilung vom 07.12.2001
- [93] Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Luftüberwachungssystem des Landes Sachsen-Anhalt. LÜSA-Monatsbericht Dez. 2000, Halle/S. (2001)
- [94] Staatliches Umweltamt Itzehoe (Hrsg.): Messbericht 1999 der Lufthygienischen Überwachung Schleswig-Holstein: „Immissionsüberwachung der Luft in Schleswig-Holstein“ http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/serv/et/is/1450/jabe_1999.pdf (2000)
- [95] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (Hrsg.): Luftverunreinigung in Berlin im Jahr 1999, Berlin (2000)
- [96] Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Luftqualität in Nordrhein-Westfalen - LUQS-Jahresbericht 1998, Essen (1999)
- [97] UMEG Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (Hrsg.): Jahresbericht, Karlsruhe (1999)
- [98] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg und UMEG mbH (Hrsg.): Die Luft in Baden-Württemberg. Jahresbericht 1998, Karlsruhe (1999)



Schriftenreihe „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0948-0838)

- Band 1 Geotechnik im Deponiebau (1994)
- Band 2 Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg (1993)
- Band 3 Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg (1994)
- Band 4 Abfallwirtschaft und Bergbau (1995)
- Band 5 Luftqualität 1975–1990 (1995)
- Band 6 Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen (1995)
- Band 7 Rüstungsaltslasten (1995)
- Band 8 Die Havel (1995)
- Band 9 Rieselfelder Brandenburg-Berlin (1995)
- Band 10 Ausweisung von Gewässerrandstreifen (1996)
- Band 11 Brandenburger Ökologietage I (1996)
- Band 12 Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen (1996)
- Band 13/14 Rieselfelder südlich Berlins (1996)
- Band 15 Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg (1998)
- Band 16 Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Brandenburger Ökologietage II (1998)
- Band 17 Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Leitbildentwicklung – (1998)
- Band 18 Landschaftsökologische Untersuchungen am ...Niedermoor in Nuthe-Nieplitz-Niederung (1998)
- Band 19 Umweltradioaktivität – Bericht 1998 (1999)
- Band 20/21 Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase ... 1998 (1999)
- Band 22 Schadstoffbelastung von Böden im NP Unteres Odertal vor/nach Oderhochwasser 1997 (1999)
- Band 23 Geogene Grundbelastung der Fließgewässer Spree/Schwarze Elster und Einzugsgebiete (1999)
- Band 24 Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung (2000)
- Band 25 Humanarzneimittel in der Umwelt (2000)
- Band 26 Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt (2001)
- Band 27 Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg (2001)
- Band 28 Ökologietage III – Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg (2001)
- Band 29 Tierarzneimittel in der Umwelt (2001)
- Band 30 Pflanzenschutzmittel in der Umwelt (2001)
- Band 31 Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmen-/Bewirtschaftungsplanung im Oderbruch (2001)
- Band 32 Weiterentwicklung von Schutzgebietssystemen auf naturräumlicher Grundlage... (2001)
- Band 33 Morphologische Referenzzustände für Bäche im Land Brandenburg (2001)
- Band 34 Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben (2001)
- Band 35 Tagebaurestseen: Wasserbeschaffenheit und wassergütemwirtschaftliche Sanierung... (2001)
- Band 36 Staubniederschlag und Niederschlagsdeposition im Land Brandenburg (2002)
- Band 37 Strukturgröße von Fließgewässern Brandenburgs (2002)
- Band 38 Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Fachtagung im Juni 2001 (2002)
- Band 39 Ökotoxikologische Bewertung von Humanarzneimitteln in aquatischen Ökosystemen (2002)
- Band 40 Luftqualität 1991 bis 2000 – Ein Überblick für das Land Brandenburg – (2002)

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) • Berliner Straße 21–25 • 14467 Potsdam
FON: 0331/23 23 259 • FAX: 0331/29 21 08 • E-Mail: infoline@lua.brandenburg.de
Schutzgebühr je Band 7,- €, Doppelband 10,- €